

auf die Kanäle übergehen können, wobei vorausgesetzt wird, daß auch die Kanäle genügende Breite erhalten, um das Begegnen zweier Flußschiffe zu gestatten. Dadurch wird wenigstens der Verkehr der Flußschiffe 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 größten Verschiedenheiten zeigen begreiflicherweise die Seeschleusen. Es giebt manche nur für kleine Küstenfahrer bestimmte Schleusen von etwa 6 m Weite, wogegen für die größten Schiffe einzelne Kammerschleusen und manche Dockschleusen sogar 30 m Weite haben. Die größte 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, sodaß längere Schiffe gezwungen werden, erst nach einer Ausspiegelung des äußeren und inneren Wassers durchzufahren. So ist z. B. der Geestemünder Schleuse nur eine nutzbare Kammerlänge von 73 m gegeben, während die größten im Bau begriffenen Dampfschiffe jetzt über 200 m lang sind. Die größere der beiden älteren Nordseeschleusen des Amsterdamer Kanals hat 120 m zwischen den zusammengehörenden Drepelspitzen, 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 große 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 muß nach dem Zweck der Schleuse und der Belegenheit bestimmt werden. Es ist jedoch die Höhe der Thore von ebenso großer 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 Gegensatz zu den beweglichen Teilen, den Thoren nebst ihrem Zubehör, in Betracht gezogen werden sollen. Im allgemeinen kann dabei gesagt werden, daß 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 Schleusengröße der neuen Kanalentwürfe von Sympher. Centralbl. d. Bauverw. 1885, S. 180.

¹²⁾ Vergl. „Fortschritte der Ingenieurwissenschaften“, zweite Gruppe, 2. Heft, S. 72. Dasselbst S. 8 u. ff. findet man Angaben über die Größe 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 außerdem 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 ausen eine 3 bis 4 m über den gewöhnlichen Stand sich erhebende Sturmflut eintritt. Mufs dann eine derartige Schleuse mit Hilfe von Abdämmung 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, Tribsand und Schlamm, bei denen

plötzliches Einrutschen der Baugrubenufer, Bersten halfertiger Böden oder gar Brechen der Abdämmung infolge der Bewegung des Untergrundes zu befürchten und zu bekämpfen sind. Aus diesem Grunde erscheint von vornherein für alle großen und tiefen Seeschleusen die früher gebräuchliche Bauweise mit Abdämmungen 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, daß 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 teureren und oft kaum genügend stark zu machenden Abdämmungen, sowie das kostspielige und manchmal die Gefahren nur vergrößernde Wasserschöpfen fortfallen oder auf ein sehr bescheidenes Maß 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 Senkpfiler 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 großer 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 große, kaum zu übertreibende Vorsicht, um Quellen und hohle Räume unter dem Boden zu vermeiden. Es kommt nämlich für eine oft einige 1000 qm große 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 großer 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 Gleichmäßigkeit und Dichtigkeit hingewiesen.

Von den Steinen sind vorzüglich die gewöhnlichen Backsteine zur Herstellung großer Massen besonders der Hintermauerung, die Klinker für etwaige Bögen und die Verblendung der äußeren 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 gleichmäÙig dick sind und wenn anderes Material nur mit unverhältnismäÙigen Kosten zu beschaffen ist, angewandt werden, dabei fast stets nur zur Hintermauerung. Denn es läÙt sich bei ihnen trotz sorgfältiger Aufsicht kaum vermeiden, daÙ 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 gröÙserem Umfange ein Netz von Fugen und Hohlräumen entstanden, so ist die Haltbarkeit des Mauerwerks gegen zeitweilige hohe Wasserdrücke, gegen das Anstosfen großer 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 äußeren bald der Luft, bald dem Wasser ausgesetzten Steine. Von Backsteinen sind deshalb unbedingt nur wirklich glasis 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 regelmäÙige Form verlieren und keine dichte Mauerung gestatten. Bei den norddeutschen Klinkern z. B. ist die braune Farbe deshalb in der Regel der violettblauen vorzuziehen. Da nun, wie schon erwähnt, alle vorspringenden Teile wegen des Anstosfens von Schiffen, die Wendischen 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 muß 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 Vergießen 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 ge-
deihende oder treibende Cemente, oder als Zusatz zum gewöhnlichen Kalk ein aus sicherer Quelle stammender, möglichst fein gemahlener TraÙ. 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 gröÙeren 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 muß 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 Ramm-pfählen, Spundbohlen, Belagbohlen und den gegen Wasserbewegung oder starken Druck und sonstige Angriffe geschützt liegenden Teilen am besten. Sie besitzen die größere Elasticität und sind am besten in großen 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 Drempehn, frei liegenden Gurten oder Holmen, und allen aus dem Wasser in die Luft reichenden Stücken der in Holz konstruierten Schleusen. Ein großer Übelstand ist für Deutschland, daß die inländischen Eichen von großer Dicke und Länge so selten geworden sind, daß oft zahlreiche Bäume gefällt und geschnitten werden müssen, bis sich darunter endlich ein maßhaltendes und hinreichend fehlerfreies Stück z. B. für die Schlagschwellen oder die Mittelschwelle einer großen Schleuse findet. Des zu großen Wertes und des mit bestimmten Abmessungen verbundenen Verlustes wegen werden solche Hölzer selbst von großen 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 zweckmäßiger 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 außerdem nicht unwahrscheinlich ist, daß nach einer kurzen Reihe von Jahren infolge gestiegener Bedeutung der ganzen Anlage eine größere Schleuse erwünscht sein wird. Über die Einzelheiten des Holzbaues siehe § 9 und 11.

Das Eisen, und zwar in seinen verschiedenen Arten, als Gußeisen, Flußeisen, 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 größerem Maße siehe § 13. Eben-dasselbst 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 aufschließen und zunächst nur dem Transport des gewonnenen Torfes dienen soll, so wird in vielen Fällen, wenn nicht durch die günstige Lage eine baldige größere Bedeutung des Kanales gewiß 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 größere wünschenswert sind. In solchen Fällen ist ein billiger Holzbau vorteilhaft und zwar in einer Größe, welche den zunächst

absehbaren Verhältnissen entspricht, weil sich nach etwa 30 Jahren die wirtschaftlichen Zustände der Umgegend wahrscheinlich sehr geändert haben werden. Dazu kommt, daß im eigentlichen Hochmoor Holz sich verhältnismäßig lange hält und leicht zu befördern ist, während vor Eröffnung eines Schifffahrtsweges das schwere Steinmaterial nur mit ganz unverhältnismäßigen 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 großen Seeschleuse eines schon bestehenden Hafens handelt. Hier wird die Bedeutung der Schleuse in keiner Weise zweifelhaft sein. Es wird ferner wegen der großen Schwierigkeit des Baues und der damit verbundenen kostspieligen Nebenarbeiten überhaupt nicht zweckmäßig scheinen, eine wenn auch in den Materialien billige, aber nur kurze Dauer versprechende Schleuse zu erbauen. Eine größere 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 muß also im allgemeinen, je größer 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 großen 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 teureren 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 Zinsfuß 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 bzw. 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 ergibt. 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 ordnungsmäßige 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 steigende Unterhaltungsbedürfnis, den Wert β mindestens ebenso hoch halten als eine ordnungsmäßig 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 größer 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 Böden der Schleuse wird man in den meisten Fällen eine längere Dauer als für die Seitenwände annehmen dürfen. Von merklichem Einfluß in der Rechnung ist dies jedoch höchstens bei reinen Holzschleusen, da die m te Potenz für Steinkonstruktion ohnehin so groß ist, daß 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 $1\frac{1}{4}$ zu setzen sein. Die Unterhaltung eiserner Thore, die dem Seewasser ausgesetzt sind, wird mehr kosten, als solcher, welche sich im Süßwasser befinden. Ferner wird die Unterhaltung desto kostspieliger werden, je älter die Thore werden. Bei verhältnismäßig 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.

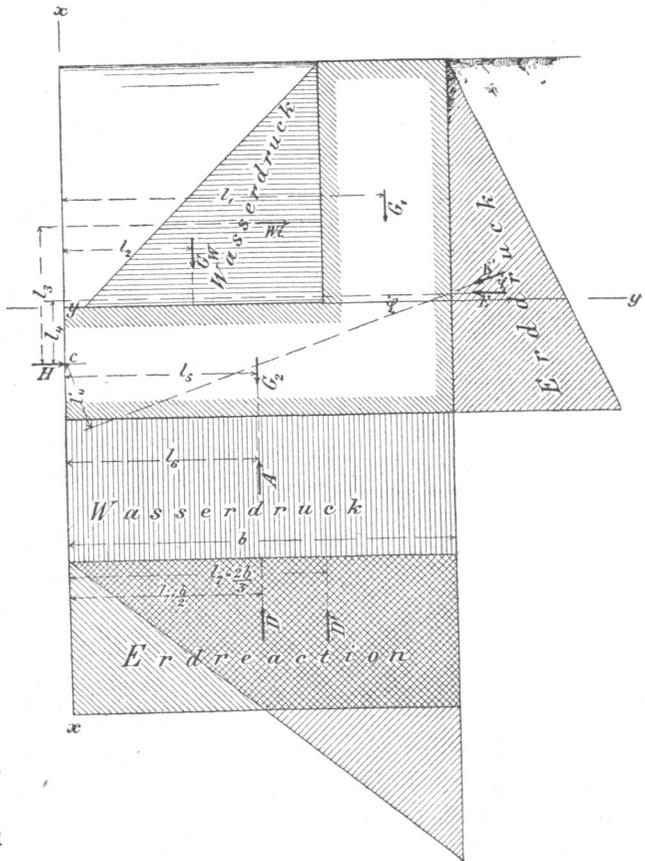
Zunächst werde ein massiver Schleusen- oder Dockquerschnitt von einfacher Kastenform betrachtet, wie ihn Fig. 14 zur einen Hälfte zeigt.

Die Seitenwand oberhalb der Linie yy wird ähnlich beansprucht, wie eine Stützwand. Von außen wirkt gegen dieselbe der Erddruck, bezw. bei größerem, 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 muß.

Die Berechnung der Wand allein bis zur Linie yy 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

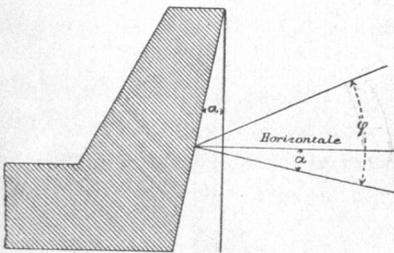
Fig. 14.



Kapitel zeigt, kann bei gewöhnlichen Stützmauern angenommen werden, daß die Richtung des Erddrucks mit der Senkrechten zur gedrückten Wandfläche den natürlichen Böschungswinkel (oder genauer, den Reibungswinkel für Boden an Mauerwerk) einschließt, weil, wenn anfänglich der Erddruck gegen die Wandfläche auch senkrecht gerichtet sein sollte, wie dies nach den Versuchen von Donath¹³⁾ wahrscheinlicher ist, die Mauer infolge des Erddrucks sehr bald eine kleine Kippbewegung machen würde, welche zur Folge hätte, daß nach derselben die Richtung des Erddrucks um den Reibungswinkel gegen die Senkrechte zur Fläche geneigt sein müßte. 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 auführt und zum Schluß 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 Längsaxe 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 außen infolge der durch die Last der Seitenwand erzeugten Durchbiegung der Sohle, außerdem aber wie vorher die Bewegung nach innen, infolge des Erddruckes gegen die Wand, sodafs es unbestimmt bleibt, wie sich diese beiden Bewegungen schließlichs 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 xx durch die Mitte der Sohle (Fig. 14), so werden zur rechnerischen Ermittlung der in demselben auftretenden Spannungen die bekannten allgemeinen Gleichgewichtsbedingungen eines Systems von unveränderlich verbundenen materiellen Punkten dienen. Es muß 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:

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

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: $E' \cdot \sin(\varphi - \alpha)$.

$$E' \cdot \cos \varphi - H - W_1 = 0 \quad 2.$$

$$G_1 \cdot l_1 + G_w \cdot l_2 + W_1 \cdot l_3 + G_2 \cdot l_5 + E' \cdot l_4 - A \cdot l_6 - D \cdot l_7 - M_x = 0 \quad . . . 3.$$

In diesen Gleichungen bedeuten G_1 und G_2 die Gewichte von Wand und Sohle, G_w Gewicht der Wasserfüllung, W_1 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 Biegemoment.

Diese drei Gleichungen zeigen zunächst folgendes:

Das Glied $E' \cdot l_4$ in Gl. 3 vergrößert 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 größten negativen Wert, wenn φ gleich Null wird.

Es ist also vorteilhaft für die Sohle, φ möglichst klein zu nehmen und zwar ist, da die Größe des Hebelarmes l_4 außerdem 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 Außenflächen 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 äußeren Druck gegen die Seitenwand den stets senkrecht zur Wandfläche gerichteten vollen Wasserdruck und außerdem 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 Ermittlung der Sohlenspannung im Schnitte xx 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 muß daher noch über die Größe des Auftriebs A gegen die Sohle eine Annahme machen.

Die Größe von A hängt von der Bodenart ab, welche den Baugrund bildet. In reinem grobem Sande oder Kies muß 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 Größe 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 Größe 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, daß an einzelnen Teilen, oder selbst bei der ganzen Sohle, der volle Auftrieb zur Geltung kommt. Es empfiehlt sich daher zwar, für einen möglichst dichten Anschluß der Sohle an den Baugrund durch Verwendung von reichlichem Mörtel in den unteren Schichten Sorge zu tragen, trotzdem aber einen verhältnismäßig hohen Auftrieb anzunehmen. Bei einigermaßen durchlässigem Sandboden wird es immer geraten sein, auch den vollen Auftrieb in Rechnung zu ziehen.

Hat man nach diesen Gesichtspunkten die Größe von A festgesetzt, so bleibt noch der Wert von l_7 , des Hebelarms des Erddrucks D anzunehmen. Über die Größe desselben kann nur gesagt werden, daß 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 groß und l_7 muß $= l_6 = \frac{b}{2}$ sein. Biegen sich aber die Enden der Sohle unter dem Gewichte der Seitenwände bei weichem Baugrunde nach unten, so wird die Verteilung ungleichmäßig und l_7 nähert sich mehr dem Werte $\frac{b}{3}$.¹⁰⁾

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

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

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, daß auch der Wert von D veränderlich ist und daß die Erdreaktion am kleinsten wird, wenn $G_w = 0$ und $A = \text{Maximum}$; dagegen am größten, für $G_w = \text{Maximum}$ und $A = \text{Minimum}$. 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 muß, 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 größte Wert von D wird also hier eintreten, wenn das Dock bei höchstem Wasserstande (außen und innen) voll Wasser ist.

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

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

genommen werde.

Um ein möglichst großes 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.

¹⁰⁾ Weitere Auseinandersetzungen hierüber findet man in der Zeitschr. f. Bauw. 1892, S. 523: Über Berechnung und Bauweise gemauerter Schleusen und Trockendocks, von L. Brennecke.

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 Höhle des Rechtecks, welches den Auftrieb A gegen die Sohle darstellt, zu erhalten. Die Gröfse des Erddrucks ist im ganzen $E = \frac{\gamma h^2}{2} \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)$ gesetzt, worin γ (mit Rückblick auf den Gewichtsverlust durch Eintauchen in Wasser) $= 1 \frac{\text{t}}{\text{cbm}}$, $h = 18 \text{ m}$, $\varphi = 20^\circ$ 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 $= 2,2 \text{ t}$. 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 $A = \text{Maximum}$) liefern also aus Gl. 5 den kleinsten Wert der gesamten Erdreaktion D , nämlich:

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

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

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

Wenn der Baugrund gleichmäfsig fest ist, so wird auch die Erdreaktion gleichmäfsig verteilt sein. Ein ungleichmafsiges 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 Höhle des Rechtecks, welches den Reaktionsdruck darstellt, da die halbe Sohlenbreite 21 m beträgt, $\frac{24,6 \text{ t}}{21 \text{ qm}} = 1,17 \text{ t}$ für 1 qm. Daraus ergeben sich die Werte von

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

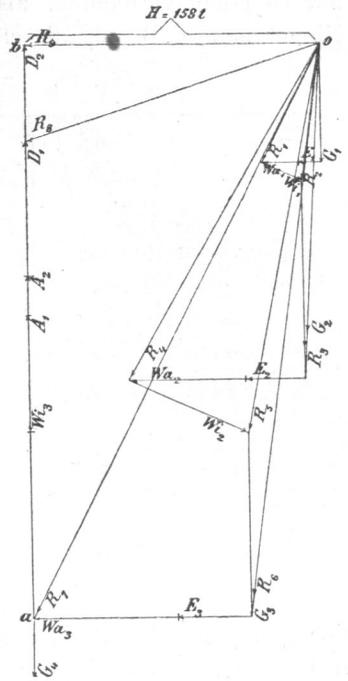
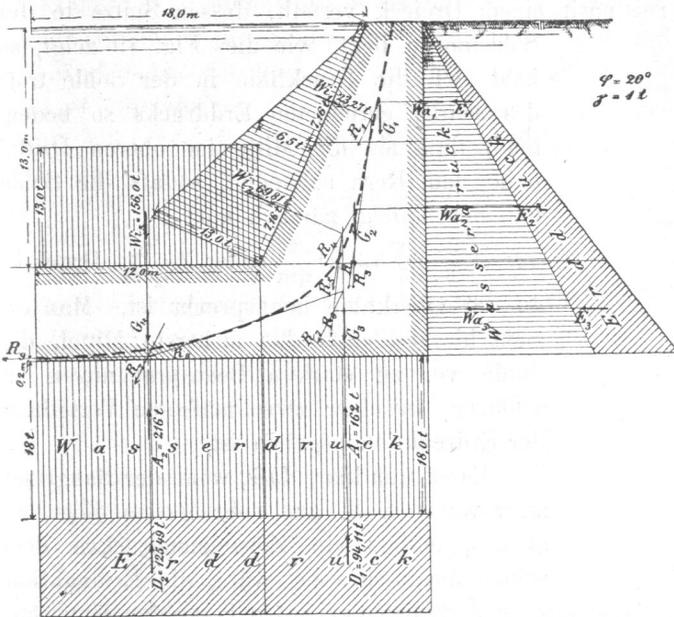
Jetzt sind sämtliche Kräfte zur Darstellung des Krafteplans gegeben.

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_s 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_5 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 $k = \frac{2}{3} \cdot \frac{243}{0,9} = 180 \text{ t}$ 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 $= \frac{17 + 12}{2} \cdot 13 = 195 \text{ t}$ und es wird $D_1 + D_2$ um ebensoviel gröfser, also gleich $195 + 24,6 = 219,6 \text{ t}$ und zwar $D_1 = 94,11 \text{ t}$ und $D_2 = 125,49 \text{ t}$.

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 (den Druck des Wassers auf den mittleren Teil der Sohle) und zieht den gesamten Auftrieb $A = A_1 + A_2$ ab.

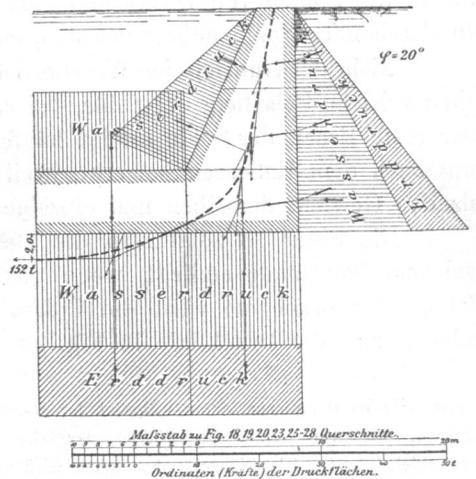
Man hat dann wieder sämtliche Kräfte, um den Kräfteplan fertig zu zeichnen, die Kräfte auch in der Sohle zusammensetzen und die Drucklinie einzuzichnen. Dieselbe liegt in diesem Falle in der Mitte nur noch 0,2 m über der Unterkante der Sohle, sodafs — wenn man Zugspannungen aufser Betracht läfst — trotz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

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

Dieselbe wäre also bereits viel zu groß.

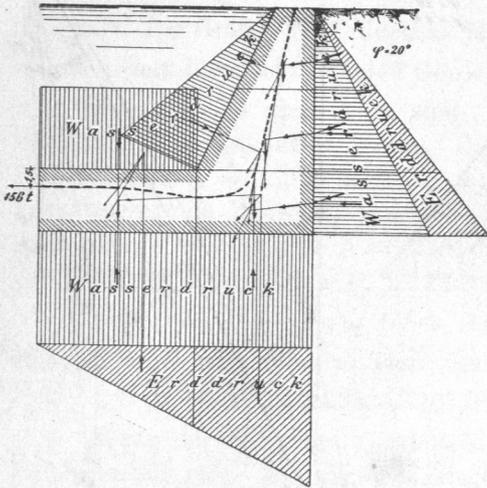
Bisher (Fig. 16 und 17) ist der Bodendruck als senkrecht gegen die Seitenwand gerichtet angenommen worden ($\varphi = 0$). Nimmt man denselben unter 20° geneigt an, so erhält man die in Fig. 18 dargestellte Drucklinie, welche in der Sohlenmitte etwa 2 m unterhalb derselben liegt. Es werden also in diesem 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 gleichmäßig unter der Sohle verteilt ist. Nimmt man z. B. an, dieselbe sei nach einem Dreieck verteilt, dessen Spitze in der

Fig. 19.



Sohlenmitte liegt, wie dies Fig. 19 zeigt, so hebt sich die Drucklinie in der Sohle trotz des schräg gerichteten Erddrucks so bedeutend, daß sie die Mitte im oberen Drittel nahe dem Kern schneidet, so daß die Sohle nun nur mächtig, nämlich mit:

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

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

Es ist nun klar, daß, wenn der Baugrund starr wäre, z. B. aus sehr festem Fels bestände, so daß ein Zusammendrücken desselben ausgeschlossen wäre, die Erdreaktion

sich genau im Verhältnis der über den einzelnen Stellen der Sohle lagernden Gewichte verteilen würde und daß dann unter den Seitenwänden, welche die größten Gewichte darstellen, auch die stärksten Drücke vorhanden sein würden. Die Drucklinie muß 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, daß 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 gleichmäßiger 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, daß nach Einlassen des Wassers der Sohlenriss sich erweitert, weil dann die ungünstigste Beanspruchung der Sohle eintritt. Die Dichtung der Sohle wird daher am zweckmäßigsten 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, daß 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 gleichmäßig 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

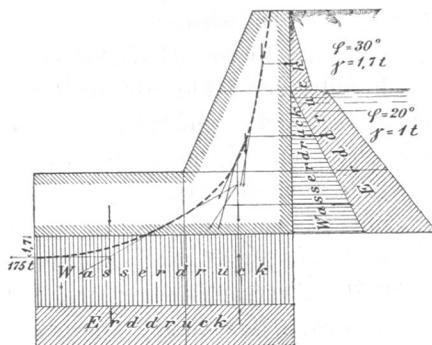


Fig. 20.

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 veranlaßt aber, daß 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 ungleichmäßige 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.

Um diese zu erreichen, giebt es verschiedene Wege. Der erste wäre der, daß 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 größeren 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 ungleichmäßige 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 einigermaßen 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 rammt, 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 Mauer Massen 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 Bodendruckes für den ersten, Fig. 22, S. 88 für den zweiten Fall. Beidemal 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 scheinbares — 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⁾

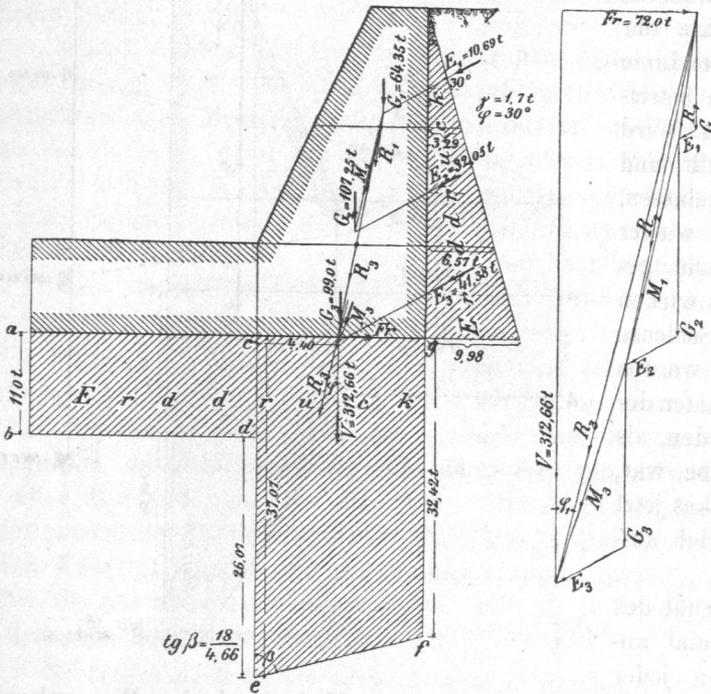
¹⁸⁾ Über Berechnung und zweckmäfsige Bauweise gemauerter Schleusen und Trockendocks, von L. Brennecke. Zeitschr. f. Bauw. 1892, S. 523.

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

gerichtet. Die Druckfläche $cefg$ stellt nur die Verteilung der senkrechten Seitenkraft V von R_3 dar, während die im Kräfteplane mit Fr bezeichnete wagerechte Seitenkraft,

Fig. 22. Ermittlung der Verteilungslinie.

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



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, daß dieselbe dauernd ist und durch ihren Einfluß die Biegungsspannungen in der Sohlenmitte vermindert.

In den Untersuchungen, welche sich auf die Ausführungsweise nach Fig. 22 ausschließlich 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, daß die Reibung zu vernachlässigen sei.

Für die Bestimmung der Größe 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 außen der niedrigste Wasserstand vorhanden ist unter der Annahme, daß die Herstellung gemäß Fig. 21 erfolgte, also die Hinterfüllung der Seitenwände nach Einsetzen der Sohle geschah. Fig. 24 entspricht denselben Wasserdruckverhältnissen von außen, aber unter

²⁰ In genannter Arbeit war vorgeschlagen, die Reibung gleich dem jeweiligen Drucke $D_1 \cdot \tan \varphi_1$ zu setzen, solange $D_1 \cdot \tan \varphi_1 \leq Fr$ in Fig. 22, falls $D_1 \cdot \tan \varphi_1 > Fr$ würde, aber als Reibung Fr beizubehalten, d. h. $\tan \varphi_1$ oder φ_1 entsprechend zu verkleinern. Nach der jetzigen Annahme ist die Reibung dagegen stets $= D_1 \cdot \tan \varphi_1$ gesetzt, auch wenn dieser Wert größer 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 Prefs-luft 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, daß 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 Horizontal-schubes, 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, daß auch der Erddruck horizontal wirke, dargestellt ist, so erkennt man den großen 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.

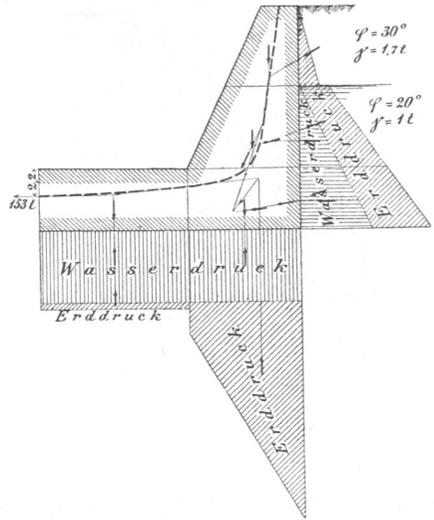


Fig. 24.

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

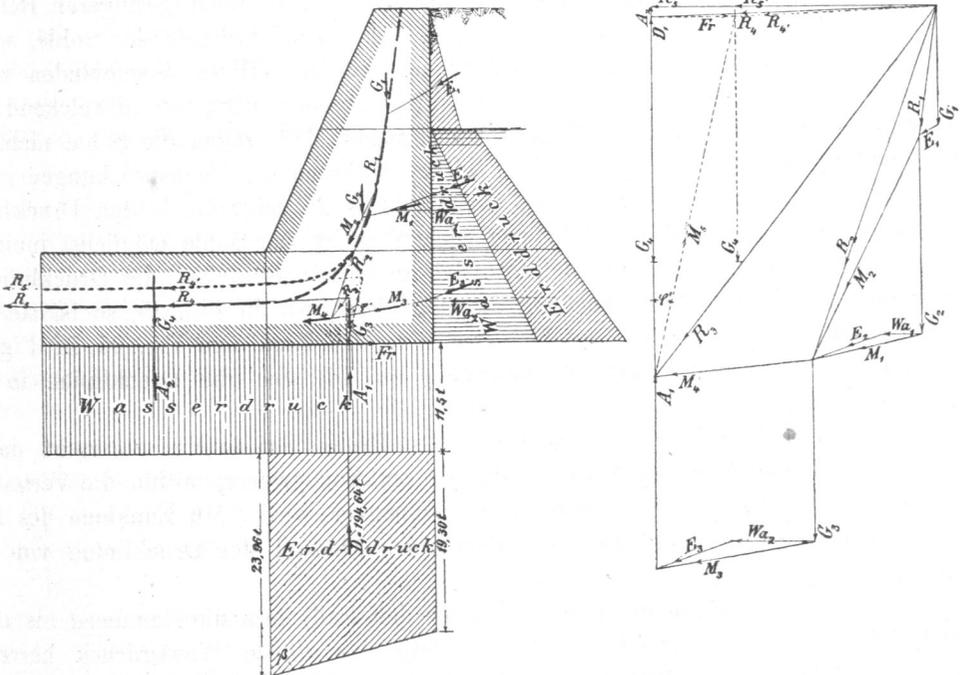


Fig. 25 zeigt die drei Drucklinien, welche den beiden Herstellungsweisen nach Fig. 21 und 22 entsprechen, wenn das Bauwerk wasserleer ist, aber aufsen der höchste Wasserstand gegen Seitenwand und Sohle wirkt. Die Drucklinie, welche am höchsten

Fig. 25.

N_6 (nach Einsetzung der Sohle hinterfüllt) günstiger.

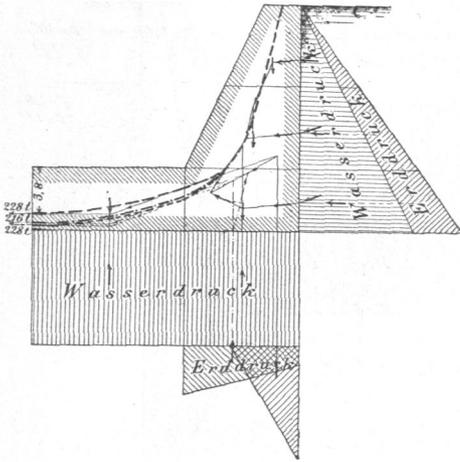
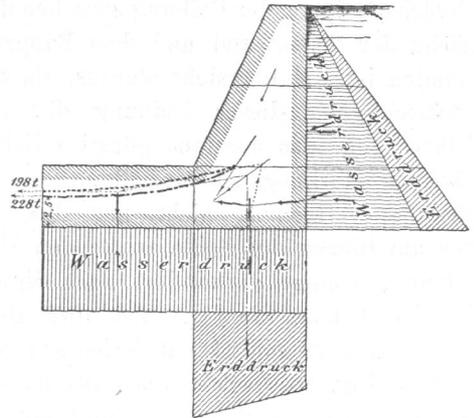


Fig. 26.

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, sodass 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, dass gegen die Sohle nicht der volle Auftrieb, sondern nur $\frac{3}{4}$ 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 anzuschließen, 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 Größe übernommen, an die sich die Drucklinien in der Sohle anschließen.

Die wesentlich günstigere Lage der beiden Drucklinien in Fig. 26 rührt daher, dass infolge Verminderung des Auftriebs die Erdreaktion größer, 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, dass die Kammern bis oben hin voll Wasser sind, während außen gleichfalls der größte 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 Trockenem gebaut, Sohle vor Hinterfüllung der Seitenwände mit Boden eingesetzt (entsprechend Verteilungslinie Fig. 21).

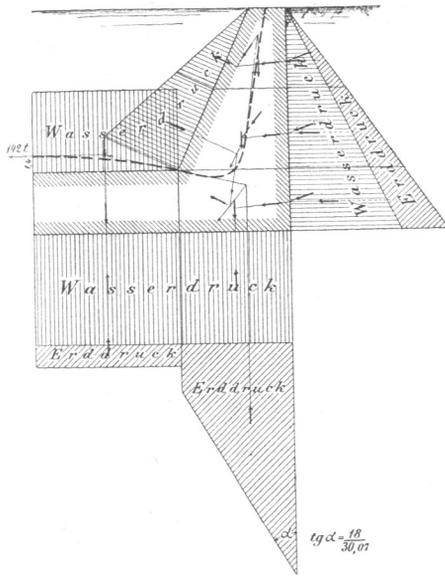
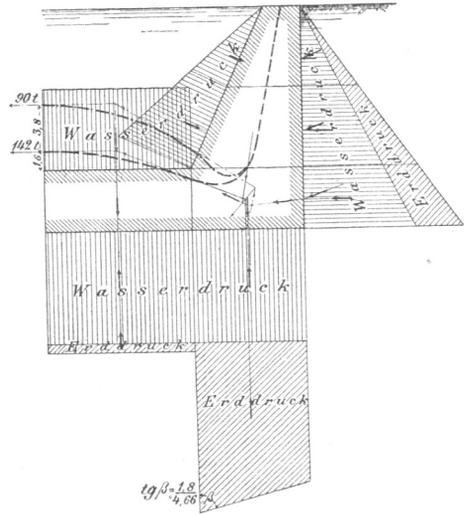


Fig. 28.

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



Es kann dies auch nicht anders sein, denn durch das große Gewicht der Wasserfüllung muß 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. Außerdem 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 größer 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 muß man sie durch festes Aufstampfen des Betons unschädlich zu machen suchen. Erstreckt sich die Lockerung aber auf größere 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 zweckmäßiger, weil sicherer, sein, wie weiter unten nachgewiesen wird.

Im allgemeinen beweisen die Figuren 23 bis 28, daß es bei der gewählten Form des Querschnittes zweckmäßiger 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).

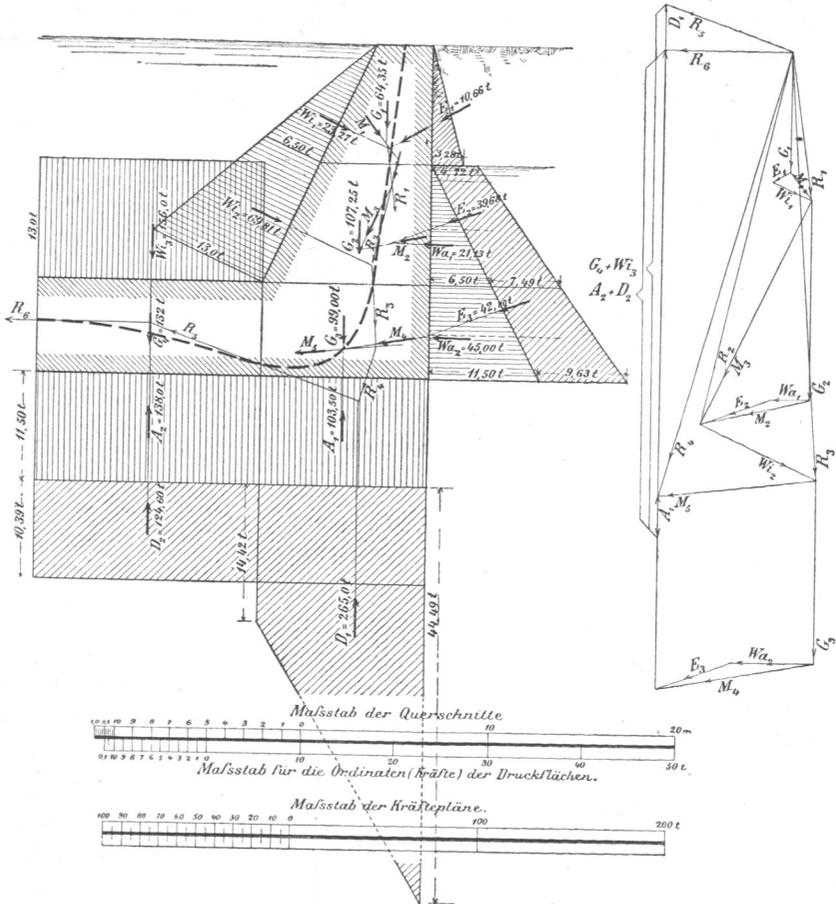


Fig. 29 zeigt noch die Drucklinie für den besonders bei Schleusen häufig zu erwartenden Fall, daß im Innern derselben der Oberwasserstand vorhanden ist, während das Grundwasser längs der Wände und der Auftrieb gegen die Sohle dem Unterwasserstande entspricht. Es ist hier die Bauweise nach Fig. 21 angenommen. Die Erdreaktion erreicht hier, abgesehen von der Zeit während der Herstellung in trockener Baugrube, wie bereits bei der Besprechung der Gleichungen bemerkt, ihren größten 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, daß der Wasserdruck gegen die innere Wandfläche größer ist, als Wasserdruck und aktiver Erddruck gegen die äußere, wie aus dem Kräftepläne ersichtlich ist. Die Fuge kann aber nicht bedeutend werden, weil dies der passive Erddruck von außen verhindert. Damit dieser kräftig zur Geltung komme, ist es nützlich, den Boden, namentlich oberhalb des Grundwassers, in dünnen Lagen fest zu stampfen.

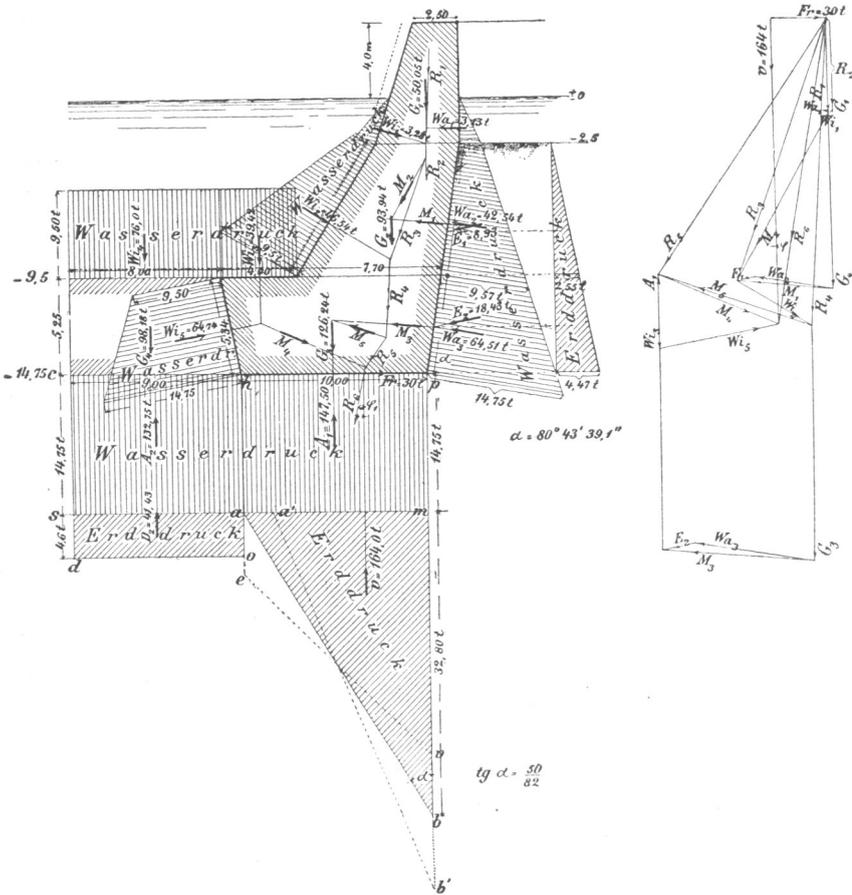
Die Figuren 30 bis einschließlich 34 zeigen die Drucklinien eines Docks, welches mit Hilfe von Prefsluft unter Wasser hergestellt wurde. Auch hier ist wieder als un-

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

Bei Anwendung der Prefsluftgründung 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 Prefsluft ausgeführt werden können, wird weiter unten in § 12 mitgeteilt.

Fig. 30. Ermittlung der Verteilungslinie für Prefsluft-Gründung.

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

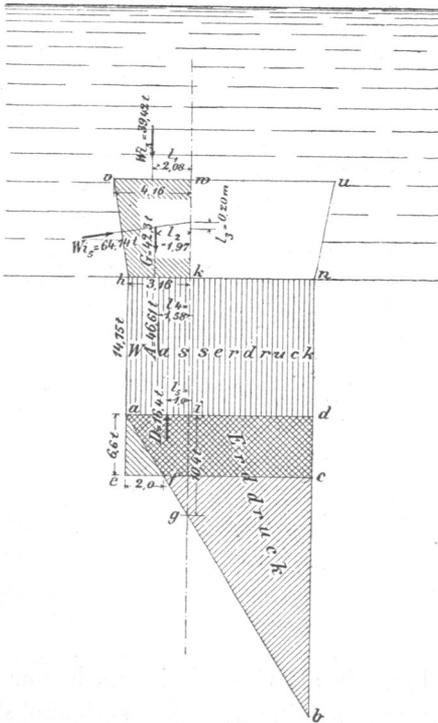


Diesem Bauvorgange entsprechend ist in Fig. 30 als Querschnitt auch nur der Rohbau in ausgezogenen Linien dargestellt und zur Ermittlung der Verteilungslinie $doab$ benutzt, während die innere Grenze des fertig verkleideten Bauwerkes durch punktierte Linien dargestellt ist. Die Seitenwände sind hier bis zur Höhe -2,5 unter-schnitten 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, daß der unterschrittene 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. Ausser 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 $\frac{1}{3}$ ihrer Länge von dem äusseren 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 abm , dessen Grundlinie $am = 10$ m und dessen Höhe $bm = 32,8$ t ist.

Wird nach Fertigstellung der Seitenwände die Sohlenmitte ebenfalls unter Wasser eingesetzt, so erzeugt dieselbe einen gleichmäfsig verteilten Erddruck unter sich, der

Fig. 31.



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 $sdoa$ von 9 m Grundlinie und $4,6 \frac{t}{qm}$ Höhe, bei $41,4 t = D_3$ Inhalt.

In Bezug auf die Form der Verteilungslinie $doab$ ist noch folgendes zu bemerken: Während der Ausführung der Seitenwand wird nach Fertigstellung des beiderseits unterschrittenen Sohlenstückes $hn uv$ (Fig. 31) unter diesem eine Erdreaktion vorhanden sein, welche (genau genug) durch das Rechteck $aecd$ dargestellt ist, dessen Höhe = $6,6 \frac{t}{qm}$ beträgt. Es wird also an dem Punkte h der Sohle, unter welchem nach Fertigstellung und Hinterfüllung der Seitenwand die Spitze a des Druckdreiecks abd liegt, mithin der Sohlendruck alsdann = 0 ist, während der Aufmauerung und Hinterfüllung der Erddruck allmählich von $6,6 \frac{t}{qm}$ auf 0 sinken. Damit müssen in dem

Sohlenteile $vh nu$ Biegungsspannungen eintreten, welche in dem Schnitte wk (Fig. 31) sich aus der Gleichung:

$$M_x = - W_3^i \cdot l_1 - G \cdot l_2 + W_5^i \cdot l_3 + A \cdot l_4 + D \cdot l_5$$

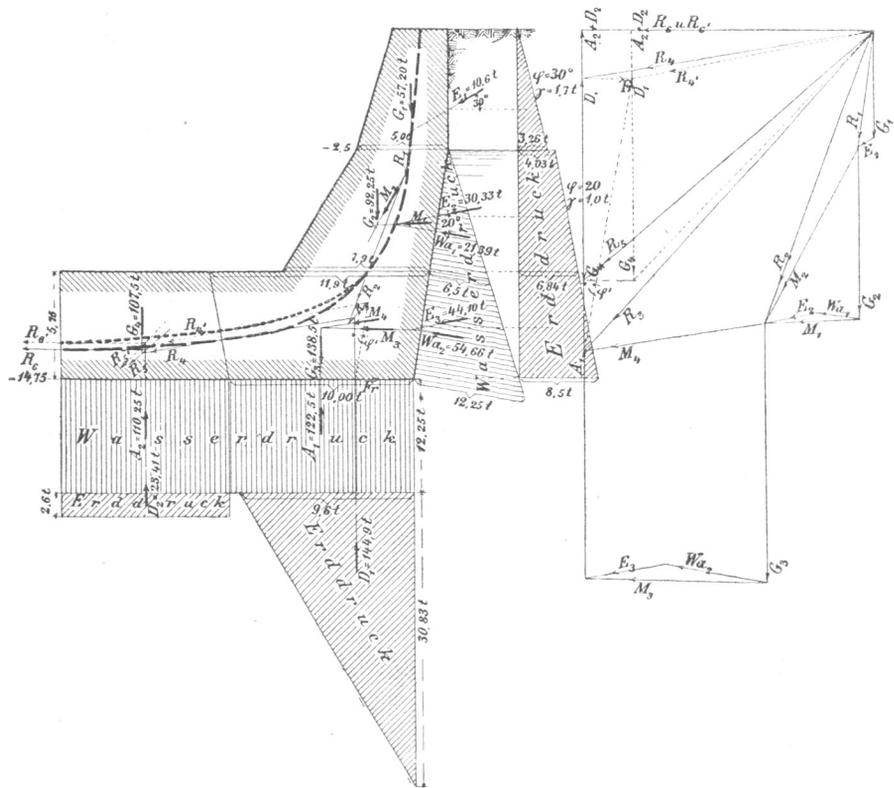
berechnen lassen und für die vorliegenden Verhältnisse bei w eine Zugspannung von etwa $1,3 \frac{kg}{qcm}$ und bei k eine ebenso grofse Druckspannung ergeben. Die Zugspan-

nungen bei w würden noch gröfser werden, wenn die Begrenzungslinie ab der Druckfigur für die fertig aufgemauerte Seitenwand etwa die Lage $a'b'$ in Fig. 30 erhalten hätte. Ausserdem würde in diesem Falle ein Abheben der Sohle vom Boden auf der Strecke aa' 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 wk (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 Unter-spülungsgefahr 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 abm (Fig. 30), zu erhalten. Ist für das Trapez, Fig. 30, die Seite ac unter h so groß als die Höhe ao 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 abm 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 $doab$ 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 ausfen.

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

Fig. 32.



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 muß doch die Herstellung unter Wasser mit Hilfe von Prefsluft 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 Prefsluft (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 Prefsluft, zum mindesten bei der Einsetzung des mittleren Sohlenteiles (vergl. § 12), das sicherste Mittel, jede Überanstrengung der Sohle zu vermeiden.

Noch ist zu bemerken, daß 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, daß 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 außer 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 muß man auch noch den Rohbauquerschnitt, wie ihn Fig. 30 zeigt, unter der Annahme untersuchen, daß 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, daß das unverblendete Bauwerk bereits im Stande ist, die dem höchsten und niedrigsten Grundwasserstände und Auftriebe entsprechende Belastung auszuhalten. Einmal ist es in der Regel unwahrscheinlich, daß 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, daß sobald diese über- oder unterschritten werden, eine geeignete Belastung eintrete.

Die nachträgliche Einfügung der Verblendung bei mit Prefsluft 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.

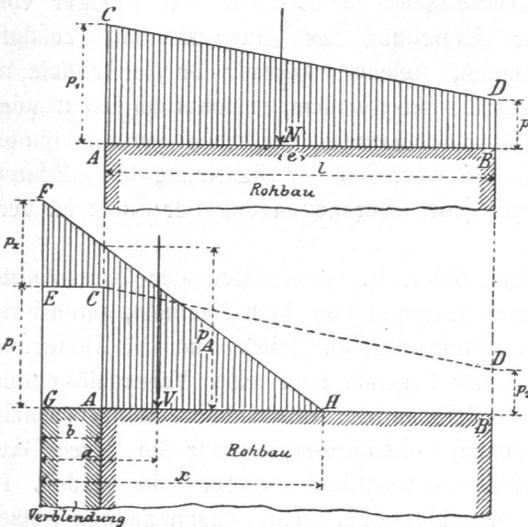
Wenn nach Fertigstellung des Bauwerkes dasselbe zur Ausführung der Verblendung leer gepumpt wird, treten Spannungen im Rohbau auf und die Verblendung wird — an sich spannungslos — diesem bereits in Spannung befindlichen Rohmauerwerk angefügt. Erhöhen sich dann in Zukunft infolge des steigenden Grundwasserstandes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

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

Um letztere zu ermitteln, hat man wie folgt zu verfahren²¹⁾:

Man beobachtet den Wasserstand, welcher während der Verblendung des gefährlichsten Querschnittes, dessen einstige grösste Beanspruchung man berechnen will,

Fig. 35.



im Hinterfüllungsboden vorhanden war und berechnet daraus den Spannungszustand im Rohmauerwerk dieses Querschnittes während der Einfügung des Verblendungsmauerwerks. Das Drucktrapez C A B D (Fig. 35) möge die Druckverteilung im Querschnitte des Rohmauerwerks während dieser Zeit darstellen. Wenn nun eine spätere grössere 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) gertickt wird, so kann das vorgesezte Verblendungsmauerwerk von der Breite b erst Druckspannungen erhalten, wenn in der linken Kante des Rohbau-

mauerwerks die Spannung p_1 überschritten wird. V wird sich also nach der Figur F E C A H F auf den Gesamtquerschnitt verteilen, wenn man wieder nur Druckspannungen annimmt.

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

$$x = \frac{3(2 \cdot V \cdot a + p_1 \cdot b^2)}{2(V + p_1 b)} \dots \dots \dots 6.$$

Pressung in der Vorderkante der Verblendung:

$$p_x = \frac{4(V + p_1 b)^2}{3(2V \cdot a + p_1 \cdot b^2)} - p_1 \dots \dots \dots 7.$$

und die Pressung in der Vorderkante des Füllungsmauerwerks $p_A = \frac{(p_1 + p_x)(x - b)}{x}$; oder, wenn man die Werte von x und p_x aus obigen Gleichungen einsetzt:

$$p_A = 2(V + p_1 \cdot b) \cdot \frac{2(V + p_1 \cdot b)}{3(2V \cdot a + p_1 \cdot b^2)} \cdot \left[1 - b^2 \cdot \frac{2(V + p_1 \cdot b)}{3(2V \cdot a + p_1 \cdot b^2)} \right] \dots \dots 8.$$

In den Gleichungen bedeutet:

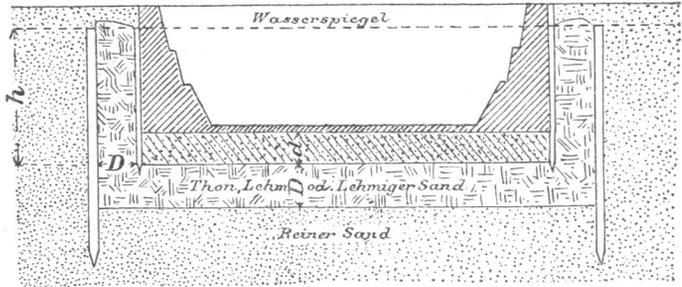
- p_1 die Kantenpressung im Rohmauerwerk während der Ausführung der Verblendung,
- V der grösste in dem fertigen Querschnitte auftretende senkrechte Druck,
- p_x die durch V erzeugte Kantenpressung im Verblendungsmauerwerk,
- p_A die gleichzeitig im Rohmauerwerk vorhandene Kantenpressung,
- x Grundlinie der Druckfigur,
- a Abstand von V von der Kante der Verblendung,
- b Stärke der Verblendung.

²¹⁾ Über Berechnung und zweckmässige Bauweise gemauerter Schleusen und Trockendocks, von L. Brennecke. Zeitschr. f. Bauw. 1892, S. 541.

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 Einschließung des letzteren durch Spundwände auf möglichste Dichtheit derselben Bedacht nehmen mufs, ist selbstverständlich.

Wenn man den Spundwänden auch im allgemeinen keinen grofsen Einflufs auf die Verminderung des Auftriebes zutrauen mag, so ist ihre Dichtheit doch für den Schutz gegen Unterspülung von grofsen 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 auferhalb 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.



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

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 $\frac{3}{4}$ 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:

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

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 Koeffizienten 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.

Außer der bereits angeführten Arbeit des Verfassers: „Über Berechnung und zweckmäßige 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 großen 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 anschließen läßt. In welcher Weise diese Ausführungen geschehen, wird in § 9 mitgeteilt. Die Größe der Auftriebverminderung ergibt sich auch hier nach der Formel 8, welche vollen Auftrieb im Baugrunde voraussetzt. Ist der Baugrund weniger durchlässig, so ist die Größe des vorhandenen Auftriebes entsprechend der in dem Aufsätze: „Über die Größe 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 verhältnismäßig geringem Auftriebe, etwa $\frac{1}{2}$ bis $\frac{1}{4}$ des theoretischen zu thun haben. Dieser Auftrieb muß — 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 Biegefestigkeit 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 vergrößern, wenn man statt der gewöhnlichen Rammpfähle Schraubenpfähle verwendet. Der senkrechte Zug, welcher erforderlich ist, um einen solchen Pfahl aus dem Boden zu reißen, ist²²⁾:

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

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 Schraubenhalmmesser und φ den natürlichen Böschungswinkel des Bodens bedeutet. Von diesem Widerstande darf man $\frac{3}{4}$ bis $\frac{4}{5}$ als nutzbar in Rechnung ziehen und muß die Verbindung zwischen Pfahlkopf und Schwelle dementsprechend sicher einrichten, vergl. § 9.

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

²²⁾ Versuche über den Widerstand von Schraubenpfählen gegen Herausreißen, 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 ließen — zweckmäßiger sein, die Seitenwände vorher aufzumauern und erst nachträglich den hölzernen Boden zwischen denselben einzufügen. Dies setzt voraus, daß die Schwellen nicht unter beide Seitenwände hindurchreichen, sondern daß die Pfähle unter den Seitenwänden vorher für sich verholmt und mit Belag versehen werden und daß 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 größere Setzungen auszuschließen, so wird man es vorziehen, die Schwellen über die ganze Breite durchzulegen, weil auf diese Weise die Arbeit sehr erleichtert und größere Dichtheit erzielt wird. Kleinere Setzungen der Seitenwände sind bei hölzernen Böden wegen der großen 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 ausschließlich nach der Größe 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, daß 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 großer 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, daß 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 verschließbarer Öffnungen zwischen Oberwasser und Kammer einerseits, sowie andererseits zwischen Kammer und Unterwasser, um nach Bedürfnis den Wasserstand in der Kammer mit dem Ober- bzw. Unterwasser auf ein und dieselbe Höhe zu bringen. Früher hatte

²³⁾ Näheres hierüber findet man in der Arbeit von Tellkampff: 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 muß als Aufgabe gelten, daß sie durchaus dicht verschließbar, sowie leicht und rasch zu öffnen und zu schließen sind und daß sie nach der Öffnung dem Wasser mit möglichst wenig Hindernis den Durchgang gestatten. Die erste Forderung wird namentlich wichtig, wo mit dem Oberwasser gespärt werden muß, außerdem 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 großen 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 Schleusenammer durch Thorschütze ergibt sich:

$$T = \frac{A \cdot H}{\mu \cdot A_1 \cdot \frac{1}{2} \sqrt{2gh}} = \frac{2A \cdot \sqrt{h}}{\mu \cdot A_1 \sqrt{2g}}, \dots \dots \dots 12.$$

bei einer anfänglichen und schließlich zu Null werdenden Druckhöhe h , also einer von $\sqrt{2gh}$ bis zu Null gleichmäßig abnehmenden theoretischen Ausflugschwindigkeit, wenn A die Oberfläche der Kammer, A_1 den Querschnitt der Schützöffnungen und μ den Ausfluskoeffizienten (etwa = 0,62) bedeuten. Diese Zeit ist doppelt so groß, 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 Größen für A und h zu berechnen.

Die obige Formel entspricht der Ausflugschwindigkeit aus dünner Wand und ist daher für Umläufe nicht ohne weiteres richtig, sondern hängt bei solchen außer 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 außerdem 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 bzw. 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 ausfliessende Wasserstrahl zum Teil in der freien Luft liegt; mit anderen Worten, obige Formel gilt nur, wenn die Austrittsöffnungen der Umläufe bzw. 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 abfliessenden 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-

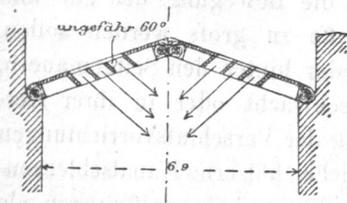
²⁴⁾ Zeitschr. f. Bauwesen 1890, S. 34: Lieckfeldt. Die Schützvorrichtungen der Stadtschleuse in Bromberg.

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

Aus der oben aufgestellten Formel $T = \frac{2A \cdot \sqrt{h}}{\mu A_1 \sqrt{2g}}$ ergibt sich z. B. für eine Schleuse von 40 m Länge zwischen den Thoren und 6 m Breite, also einer Oberfläche $A = 240 \text{ qm}$, und bei einem Gefälle h von 2 m, einer Gesamtweite der Schütze $A_1 = 1 \text{ qm}$, unter Annahme des Ausflusskoeffizienten $\mu = 0,6$, die Zeit T zum Füllen oder Leeren = 245 Sekunden oder $4\frac{1}{4}$ 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. Dafs 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 Mafse zulässig, weil der Stofs 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 Stofs 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 Stofs 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,

Fig. 37.



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 Schleusenammern 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.

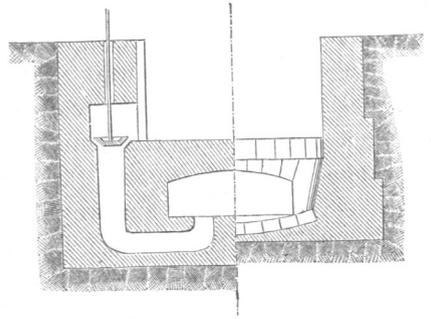
Es fragt sich sodann, welche Art von Öffnung, ob Thorschütze, Umläufe oder Grundläufe zu wählen sei. Alle drei haben ihre eigentümlichen Vorzüge, die jedoch von verschiedenen Umständen abhängig sind. Im allgemeinen sind die Thorschütze billiger, weil bei den Umläufen und Grundläufen zu den Verschlussvorrichtungen 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 Durchfließens. 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 außerdem 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 ausfließenden Wasserstrahl in ihrer Längsrichtung 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

Fig. 38.



beiden Wasserstrahlen nahezu unschädlich für die ruhige Lage des Schiffes und es darf alsdann den Querschnitten ohne Nachteil eine größere Weite gegeben werden, als etwaigen Thorschützen. Offenbar wird auch das Gefälle des Wassers für die Ausflugs geschwindigkeit 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 Ausflußöffnung an ihrem Ende einen starken Stoß des ausfließenden 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 ausfließenden Wassers durch Geschwindigkeitsverluste infolge mehrmaliger Richtungsänderungen wieder aufgewogen, daher ist eine solche konstruktiv schwierige Anordnung nicht zu empfehlen.

Weit einfacher wird Beruhigung des Wassers bei den Oberhäuptern einiger Schleusen mit Klapphoren 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 einschliesslich 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 Schleusenammer. Der Hohlraum unter dem Boden, in welchem die Schütze sich befinden, steht mit der Schleusenammer 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 fliessenden Wassers infolge der Richtungsänderung, namentlich aber infolge der grossen 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 grossen 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 Verschlussvorrichtung oder wenigstens so zu verschliessen, dafs hinter dieser Vorrichtung keine Luft in den Kanal treten kann.

Grundläufe. Die beiden zuletzt genannten Konstruktionen, bei denen der Schleusen- bzw. 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 grössten Inhalt bei geringstem Umfange bietet, bei gleichem Flächeninhalte und gleicher Druckhöhe die grösste Wassermenge liefern müfste. Indessen wird der bequemerer Ausführung halber häufig von der Kreisform abgewichen. Man findet meistens 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 grosse Umläufe höher als breit zu gestalten suchen, um die Stärke der Seitenwände nicht unnötig zu vermehren, grosse Grundläufe dagegen umgekehrt, um an Fundierungstiefe zu sparen.

Wenn die Querschnitte der Umläufe und Grundläufe so groß werden, daß eine zu große Beunruhigung der in der Schleusenkammer liegenden Schiffe eintreten würde, falls man die ganze Wassermenge durch eine Öffnung in die Schleusenkammer einführt, so versieht man den Hauptkanal mit einer größeren 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 läßt man möglichst unmittelbar über der Kammer-
sohle 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 größer 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 Zwillingschleuse befinden sich

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

Fig. 39.

Schnitt durch die Kammern. M. 0,004.

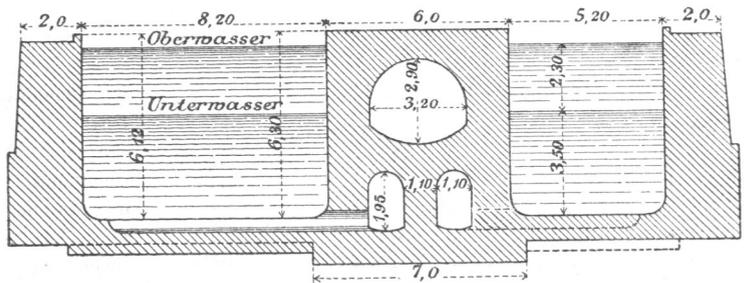
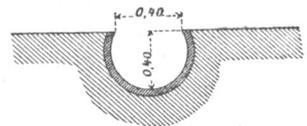


Fig. 40.

Schnitt durch einen Stichkanal. M. 0,02.



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 größeren, 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 bzw. 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 Neisse-Mündung angeordnet.

Noch gleichmäßiger 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.

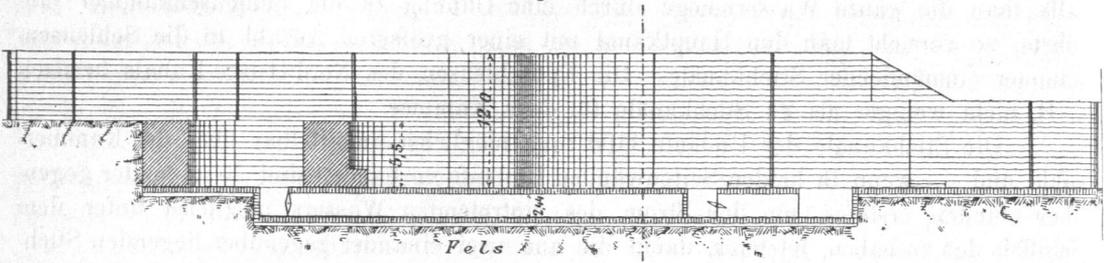


Fig. 42.

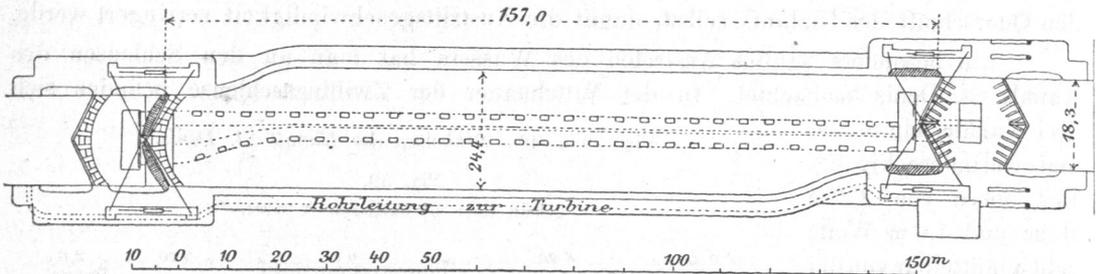
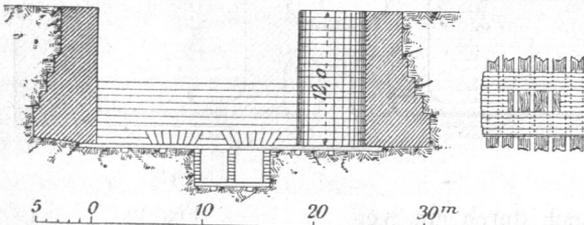


Fig. 43 und Fig. 44.



(Fig. 43) auf 0,61 m Breite und 1,37 m Länge in Fortfall kam. Dadurch wurden drei Zwischenräume der Schleusenschwellen aufgedeckt, sodass 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 größere 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 Drepeln des Ober- und Unterhauptes hindurch und bogen außerhalb 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 muß 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 ingénieur 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, große Schleusen mit großem Gefälle in der ruhigsten und schnellsten Weise zu füllen.

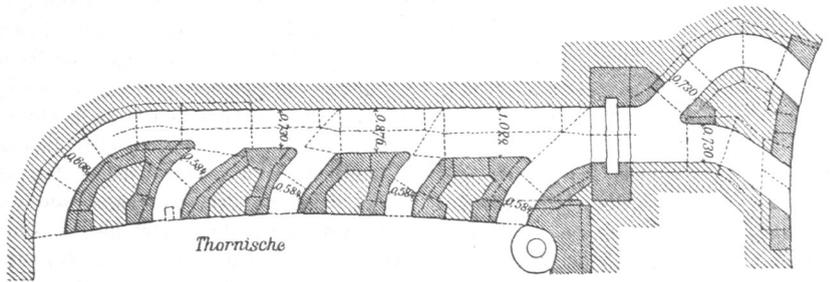
Spülvorrichtungen. Während für das Füllen der Schleusen ein möglichst sanfter Austritt des Wassers wünschenswert ist, erfordern die Spülvorrichtungen möglichst kräftige Strömungen. Für diese darf daher die Summe der Stichkanal-Querschnitte niemals größer sein, als der Querschnitt des zuführenden Hauptkanals. Dagegen ist es nützlich, den Hauptkanal möglichst weit zu machen. Das Wasser muß aus den Stichkanälen in solcher Richtung austreten und diese müssen so angeordnet sein, daß 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, daß die Spülvorrichtung nur zur Reinhaltung der Schleusenböden dienen soll oder daß 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

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

Leer). Die Abbildung zeigt den Grundriß der in dem Mauerwerk angelegten Spülkanäle, wobei der Schnitt dicht über dem horizontalen Boden derselben



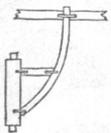
genommen ist. Der Thorzapfen und die Wendenische lassen die Lage der 16,8 m weiten Schleuse erkennen. Es münden danach je zwei Arme der Spülkanäle nach außen in den sich allmählich auf 52 m erweiternden und 64 m langen Vorhafen, während auf der Binnenseite in jeder Thornische der Hauptkanal sich in fünf 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 Durchflußöffnung jedes Hauptkanals beträgt am Schütz 1,7 qm, der fünf inneren Zweigkanäle zusammen etwa ebenso viel und der zwei äußeren 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 außen, 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 außen mündenden Kanäle lassen ihre Spülströme nach der Mitte des Vorhafens zusammentreffen. Die Spülkanäle sind zur Verhütung von Verstopfungen

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 gußeisernes, 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 äußeren Flutthores spülen zu können, befindet sich zwischen dem Hauptkanal und jeder Thorkammer eine seitliche, durch ein Schütz verschließbare 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 läßt 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 äußerem Ebbethor auch der Spülstrom von der inneren Ebbethorkammer oder direkt von dem Hafenbecken her in die äußere Ebbethorkammer geleitet werden. Die Schlickablagerung in den Thorkammern und dem oberen Teil des Vorhafens wird auf diese Weise leicht beseitigt, ehe sie der Schifffahrt 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) muß jedoch außerdem häufig gebaggert werden. Zur Spülung der Schleusenammer und Drempe 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 Schifffahrt und zur Abwässerung dienende Seeschleuse zugleich mit großen Spüleinrichtungen versehen ist, um das dem Schlickfall ausgesetzte Aufsenfahrwasser einigermaßen 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

Fig. 46.



Hochwasser durch möglichst große Öffnungen in den Ebbethoren. Diese Öffnungen waren mit sogenannten Spindelthoren verschlossen. Man versteht hierunter große Tafeln oder Flügel mit einer vertikalen, die Fläche in zwei ungleiche Teile zerlegenden Drehaxe; das Nähere ergibt § 23. Um solche Spindelthore gegen den Überdruck der größeren 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 schließender und zu lösender Arm aufsteigt. Der Rahmen drückt dabei an der Aufsenseite die größte 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.

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 muß 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 Pressluftgründung 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 Fuß 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 Schlagssäule und einer kurzen Wendessäule 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 zweckmässig, wenn auch im übrigen Klinkermauerwerk oder nur der nackte Beton zur Verwendung kommt, alle vorspringenden Kanten und Flächen, wie z. B. namentlich die Drempe, 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 Wasseroberfläche vorkommt, mit einer Querspundwand versehen werden muß, 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 Maf 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 muß daher als unzweckmässig bezeichnet werden, dafs bei den älteren Nordsee-Kanal-Schleusen bei Ymuiden (F. 1 bis 3, T. VII) die unter den Drempe 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 geprefste 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. Zweckmässiger 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 Drempe 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.

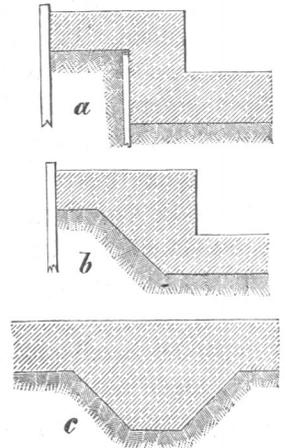
Zur Sicherheit, daß das Wasser sich nicht vom Ober- zum Unterwasser unter dem Boden hindurch Bahn breche, ist also nur je eine Querspundwand am oberen und unteren Ende eines einheitlichen Bodens nötig. Da nun aber die Herstellung des Bodens, namentlich bei Betongründung unter Wasser, die Umschließung des ganzen Bettes fordert, so werden fast stets auch Längsspundwände im dichten Anschluß mit den Querspundwänden angeordnet. Der ganze Boden ist also, entsprechend dem Wasserdruck und der Bodenbeschaffenheit, mit einer tief nach unten reichenden Holzwand eingefasst 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 Außenwassers. 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.

Außerdem 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 muß, daß es nach völliger Trockenlegung eine Zeit von mehreren Wochen hindurch allein den auftreibenden Druck des Außenwassers ertragen kann, so fragt es sich, ob es zweckmäßig und notwendig, der Übermauerung so bedeutende Stärken zu geben als es oft geschehen ist. Wenn man dabei gar annehmen muß, daß sich beide Schichten nicht so innig verbinden, daß sie als ein Ganzes angesehen werden können, so erscheint es gewiß 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, daß 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, daß der Rost nicht als eine

Fig. 47.



durchaus sichere Verstärkung des Gewölbes gegen Auftrieb angesehen werden kann, daß also das Gewölbe für sich allein genügende Stärke dagegen erhalten muß. 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 Drempebögen zur Verstärkung des Bodens hölzerner Spannbalken wie bei einem Holzboden bedient. Es ist klar, daß eine reine Holzkonstruktion hier weit vorteilhafter gewesen wäre. Es mag noch die Bemerkung Platz finden, daß die durchweg größere Papenburger Schleuse (Tafel V) vermöge der zweckmäßigeren Konstruktionen nur etwa 180000 M., die alte Harburger dagegen 420000 M. gekostet hat.

Einzelheiten. Da von den Einzelheiten der Drempe, 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, daß hierzu nur besonders gute Werksteine zu verwenden sind.

Vorzüglich erfordert der Drempe 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 Drempesteine groß zu wählen und bei großen 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, daß die spitzen Winkel thunlichst fortfallen. Da bei derartigen Schleusen in der Regel der Drempe 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 großer gekrümmter Thore näher besprochen ist, wird jedoch der Anschlag der Thorflügel an den Drempe 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 Anschlag ausgesetzten Drempequader auch in dem Bogen, während nach den Seiten hin außerdem noch besondere Quader unter demselben vorkommen.

Wesentlich einfacher ist die Anordnung der Drempe in kleineren Schleusen mit geraden Thoren und ohne gewölbten Boden. Es wird hierbei der Fugenschnitt möglichst rechtwinklig zu den Anschlaglinien des Drempes angeordnet, dabei sucht man jedoch zu lange Steine und zu scharfe Spitzen zu vermeiden. Liegt ein Abfallboden nahe hinter dem Drempe, 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 Drempesteine noch um ein gewisses Maß bis in den Thorkammerboden. Für Drempe, an welche sich ein Abfallboden nicht anschließt, 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 Drempes über dem Thorkammerboden ist folgendes zu bemerken. Hierfür ist einesteils der notwendige Spielraum zur Bewegung der Thor-

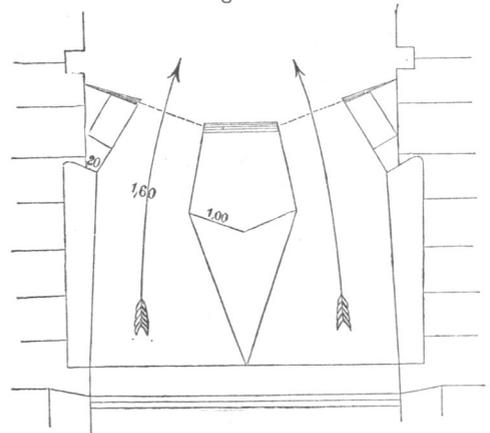
flügel, andernteils die zum dichteren und sicheren Anschlage derselben an den Dremmel erforderliche Höhe, der sogenannte Dremmel- oder Thoranschlag, maßgebend. In ersterer Beziehung kommt in Betracht, ob der Thorkammerboden der Aufschlickung, Zusan- dung u. s. w. sehr ausgesetzt ist, ob mit Wahrscheinlichkeit auf das öftere Fallenlassen von Steinen, Torf u. s. w. zu rechnen und ob ein Durchsacken der Schleusenthore zu be- sorgen ist. Wenn auch alle diese Ursachen für die Verringerung des anfänglichen Spiel- raumes durch geeignete Mittel abgeschwächt werden können, so muß doch der Sicher- heit 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 Dremmels bedingt wird, s. übrigens § 20. Außerdem 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 Dremmel- oder Thoranschlag wird je nach der Größe des Thores und des Wasserdrucks 10 bis 20 cm Höhe genügen, sodafs der Dremmel 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 Nieten 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 vorüber- gehend zur Anwendung gekommen sind.

Abweichend von den deutschen, englischen und holländischen Schleusen giebt man in Frankreich dem Steindremmel 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 Dremmel“ (*faux busc*) genannt. Die Anbringung einer solchen Holzschwelle erscheint entbehrlich, es empfiehlt sich aber, die obere und vordere Kante der Steindremmel etwas abzurunden.

Eine eigentümliche Anordnung haben auf einigen französischen Flüssen, welche sehr viel Geschiebe führen, die Dremmel zu dem Zwecke erhalten, um eine Ab- lagerung der Steine auf dem Thorkammerboden und namentlich ein Einklemmen derselben zwischen Thor- flügel und Dremmel zu vermeiden. Es ist dazu in jeder Dremmelhälfte eine Lücke gelassen, welche sich der Form der keiligen Dremmelsteine anpaßt und sich etwa durch die ganze Thorkammer aufwärts mit einer schwa- chen Neigung fortsetzt. Beide geneigte Ebenen ver- einigen sich in einiger Entfernung von der Dremmelspitze, siehe Fig. 48. Die wenigen übrig bleibenden Dremmelsteine erfordern eine besonders gute Befestigung in dem Boden. In neuerer Zeit wird jedoch in Frankreich von dieser Anordnung kein Gebrauch gemacht.

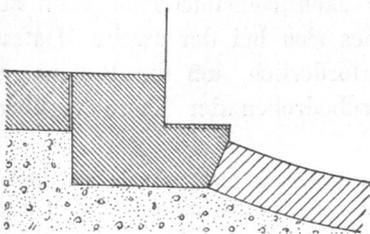
Fig. 48.



Für die sogenannte Abfallmauer oder den Übergang von dem Oberdrempeel zum Kammerboden gilt zunächst als Regel, daß er als horizontales Gewölbe sich gegen die Seitenmauern stützen und ohne die früher mitunter angewandte Neigung vertikal abfallen soll. Eine Neigung vergrößert ohne Nutzen die Länge der ganzen Schleuse und erschwert außerdem 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, übermächtig künstlich. Die unterste Steinschicht erhält ohne weiteres eine sichere Lage gegen den Kammerboden, die oberste Schicht wird zweckmäßigerweise zugleich für den Drempeel 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 Anschluß an die Unterlage von Beton oder Mauerwerk keiner besonderen Sicherheitsmafsregeln, als daß die Dichtigkeit durch sorgfältige Bearbeitung gewonnen wird. Außerdem pflegt man bei grossem Gefälle zweckmäfsig den Abfall zu teilen und den oberen Teil oberhalb der Thorammer 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.

Schliesflich 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

Fig. 49.

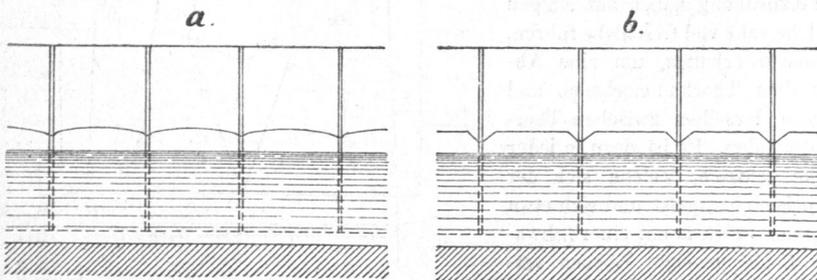


eine völlig ebene Fläche zum Auflegen des untersten Dammbalkens zu sorgen ist. Übrigens erfordert der Vorboden keine weitere Vorsicht, als daß alle Ecken und Kanten mit Quadern eingefasst sein müssen. Diese im Grundrifs gewölbartig anzuordnen, hat keinen Wert.

Bei den Thorarten, welche nicht stemmen (vergl. § 21), ist der Drempeel wesentlich einfacher, indem er vollkommen geradlinig ist. Auch hier wird man möglichst grosse 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 Drempeelsteine

Fig. 50.



(Fig. 49) zweckmäßsig 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, daß irgend eine scharfe Kante am Ponton beim Darübergleiten hinter die Steinkanten greifen und den Stein aus dem Mauerwerk herausreißen kann.

§ 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 gefaßt auf folgende Fälle beschränkt: bei Gründung des ganzen Bauwerks auf Pfahlrost insbesondere bei sehr tief liegendem festem Untergrund; wenn nicht mit unverhältnismäßiger Schwierigkeit das Wasser aus der Baugrube zu schöpfen ist; wenn die Schleuse nicht sehr groß (etwa über 15 m weit) ist, und wenn endlich das geeignete Holz zu mäßigem 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 mißbräuchliche Einsetzen von Schiffshaken zum Fortschieben der Schiffe, ferner auch heftiger Durchfluß 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 größte 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 muß, 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 großen 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 muß 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 Drempeel 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, daß 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 größter Sorgfalt hergestellt und geschlagen sein, nicht minder aber dichtschiessend 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 Drempeel und außerdem 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 Drempeeln 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 großer Tiefe oder stark quelligem, trieb sandigen 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. Außerdem 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, daß seine stärksten Hölzer in wirksamster Weise und deshalb quer zur Schleusenachse liegen. Weil ferner bei größeren Schleusen als den gewöhnlichen Kanalschleusen, also bei Weiten von über 10 m, und bei dem Wasserdruck von mehreren Metern diese Balken, um nicht zu große Stärke zu erhalten, nahe bei einander liegen müssen, so ergibt sich demgemäß 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 Drempe, 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 außerhalb 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 Horizontalsehub 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 Drempehölzer mit starken Bolzen sicher an dem Rost befestigen zu können, ist die Anzahl der Grundbalken und Pfähle unter den Drempe, der großen 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 Drempe, 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 Schluß nicht beeinträchtigt werden. Man kann jedoch zweckmäßigerweise 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 Anschluß an die anderen Teile des Bodens erhält. Um diesen Anschluß 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 schließende 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 muß 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 Stößen aufgebracht. Die immer auf einen Pfahl treffenden Stöße 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 verkeilter Zapfen sind aber schwierig herzustellen und zu kontrollieren, weshalb die offen verkeilter 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 Zerreißen gewinnt. Es ist dabei anzustreben, daß die Entfernungen für den einen wie für den anderen Teil weder zu groß noch zu klein werden. Wenn der Boden noch mit dem sogenannten Doppelboden verstärkt wird, so kann durch das Maß 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 größerer 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 abreißen. Wo die Zangen unter dem Mauerwerk liegen und besonders starken Zug zu ertragen haben, kann und muß man sie so stark nehmen, daß 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. Außer 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 muß. Die Bohlen werden felderweise so gelegt, daß alle Stöße eines Feldes auf denselben Grundbalken treffen und daß daneben in einer möglichst großen Entfernung kein Stoß wieder vorkommt. An den Stößen 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 Maß

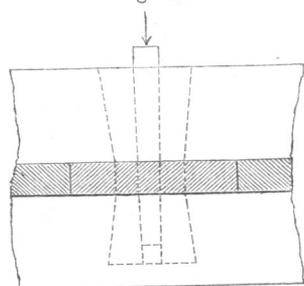
der Rostbohlen hinausgehenden Stärke von etwa 10 cm und einer sorgfältigen Ausscheidung aller etwas schadhafte, z. B. rissigen Bohlen, welche sonst ohne Nachteil zu einem Roste verwendet werden könnten.

Eine nicht unwesentliche Verstärkung der Dichtigkeit und Dauerhaftigkeit gewinnt jeder Holzboden, wenn das unter ihm befindliche Erdreich sich dicht an ihn anschließt. Man verstärkt dadurch ferner erheblich die Wirkung der Spundwände und erreicht, daß 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 Grundschwelle 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 Anschluß 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 Drempe 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 außerdem 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 gesamt Querschnittsfläche der drei Stücke leistet bei guter

Fig. 51.



³⁰⁾ Vergl. die Arbeit des Verfassers: „Über die Größe des Wasserdrucks im Boden“. Zeitschr. f. Bauw. 1886, S. 101.

Arbeit wie ein einziges Stück Widerstand gegen Zerreißen. 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 zweckmäßig 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.

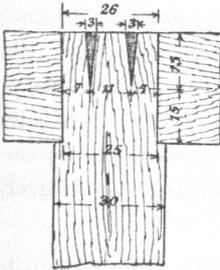


Fig. 53.

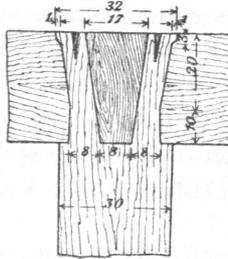


Fig. 54.

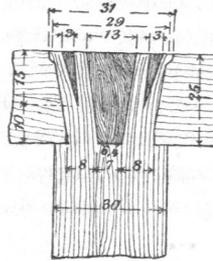


Fig. 55.

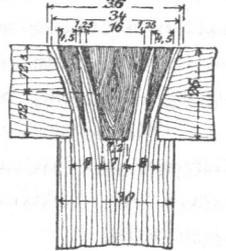
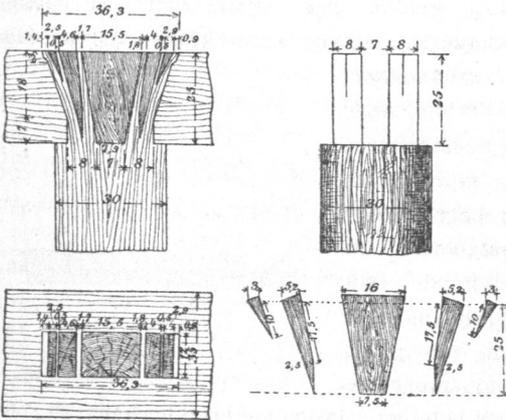


Fig. 56.



Was zunächst die Verbindung der Rostholme oder Grundbalken mit den Pfählen durch verkeilte Zapfen betrifft, so zeigten die Versuche, daß die früher gebräuchliche Art der Verzapfung nach Fig. 52 eine viel zu geringe Widerstandsfähigkeit besaß 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, sodaß 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 gegliitten 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 ausschließlich 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 Größe 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 × 4,8 cm rechteckigen Querschnitt. Dieser blieb auf fernere 3 cm unverändert und nahm dann bei einer Länge von 23,5 cm gleichmäßig bis auf 4,2 × 4 cm ab, um nach oben zu auf derselben Länge von 23,5 cm wieder auf 5 × 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 ($0,9 \times 0,9$ cm) Querschnitt waren mit Spitze 20,5 cm lang, die Holznägel, ähnlich den vorigen gebildet, hatten 30 cm Länge, $2,5 \times 2,5$ cm größten 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, daß 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 Holznägel samt den beiden Eisennägeln aus dem Holm heraus.

Die Verbindung ausschließlich 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 $3,5 \times 5 = 17$ t Zug aushalten. Die Schwellen oder Spannbalken, welche über den Bohlen lagen, konnten außerdem, 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 vergrößern. 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 außerdem 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 Anschluß 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 außerdem die Kosten der Bohlen selbst nicht unbedeutend sind und die Dicke derselben die Mafse des Mauerwerks vergrößert, 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 muß zunächst von einer so unklaren Konstruktion wie bei der auf T. VI, F. 9 dargestellten Weichselschleuse abgesehen werden. Es läßt 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 auferdem 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 auferdem 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 auferdem 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 ausgefütert 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 auferdem in allen horizontalen Hauptfugen mit geteertem Fließpapier 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 auferdem 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 Stößen besser widersteht.

Endlich ist in Papenburg noch der bei älteren Holzböden gebrauchte und zum Tragen der Zapfenpfannen (§ 20) dienende „Pfannenbalken“ dadurch glücklich beseitigt, daß eine 17 cm dicke und 44 qcm große gußeiserne 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 allergrößten Genauigkeit ausgeführt werden müssen, hierzu aber nur besonders zuverlässige Zimmerleute verwendbar sind, so ergibt sich eine verhältnismäßig lange Arbeitszeit. Sehr schwierig wird die Arbeit bei starkem Wasserandrang, namentlich wenn zeitweilig außergewöhnlich 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 großen Schleusen jetzt bekanntlich der Steinbau bevorzugt.

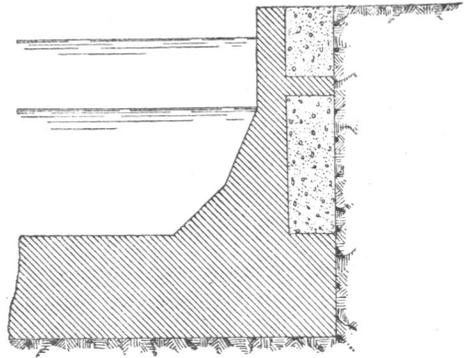
§ 10. Steinerne Wände. Dieselben sind, wie bereits erwähnt, sowohl bei hölzernen als auch bei steinernen Böden anwendbar. Da das Mauerwerk an das Holz nicht anbindet, so haben die steinernen Wände auf hölzernem Boden größere Ähnlichkeit mit auf Rost gegründeten Kaimauern, vor denen sie aber den wesentlichen Vorzug haben, daß ein Verschieben des Mauerfußes 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 Fuß möglichst vorziehen und die Innenfläche mit Anlauf versehen, wiewohl dies oft nur in beschränktem Maße 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 Größe 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 Stemthore ist es für die Wände der Thorkammern ein unbedingtes Erfordernis, daß sie unbeweglich stehen, weil bei jeder Bewegung derselben die Dichtigkeit der Thore leiden muß, ja ihr ganzer Bestand in Frage stehen kann. Da dies bei einflügeligen Drehthoren, noch mehr aber bei Klappthoren und Schiebethoren durchaus nicht in demselben Maße 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, daß 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 Schleusen-kammer 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 Schleusen-kammer, so folgt schon daraus, dafs mitunter dieselben ganz fehlen oder bei massiven Häuptern aus Holz bzw. 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 maßgebend 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

Fig. 57.



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).

Die obere Dicke der Mauer kann nicht ausschliesslich 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 Schleusen-kammer und der Thorkammern mit Ausnahme der Thorsäulen für Stemmthore, deren Stärke nach dem Zuge der Verankerungen zu bemessen ist, vgl. § 20.

Hat man in dieser Weise unter möglichster Berücksichtigung aller Anforderungen die Profillinien für die Ansichtsflächen der Schleusen-kammer 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 äußeren Wandflächen sicher und dauernd abgeschlossen werden soll. Für große 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 gleichmäßig 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, daß, wenn zwischen dem Thon und der Wand des Außenhauptes eine Wasserader entstehen sollte, diese durch Nachstürzen des Sandes an der Kammerwand sich nicht weiter ausbilden kann. Übrigens ist diese Frage nur für große Kammerschleusen, welche auf nachgiebigem Grunde stehen, beispielsweise für die Endschleusen von Seekanälen mit großen eisernen Thoren, von Wichtigkeit.

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

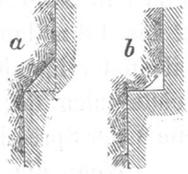
Massive Wände auf hölzernen Böden sind in dieser Beziehung unabhängiger. Wie schon in § 6 am Schluß bemerkt, ist die Verbindung solcher Wände mit dem Holzboden, selbst wenn an der Rückseite Verankerungen vorhanden wären, keine so innige, daß man Mauer und Boden statisch als ein Ganzes betrachten könnte. Damit fällt der Nutzen fort, welchen ein starker Erdschub gegen die Wand in Bezug auf das Biegemoment des Bodens in der Mitte bringen könnte. Für Schleusen dieser Bauart wird man daher plastischen Thon durchweg als bestes Hinterfüllungsmaterial empfehlen können. Selbstverständlich muß 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 unbequemerer 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, daß man die Mauern der Kanalschleusen, deren Höhe 5 m selten überschreitet, möglichst einfach gestaltet und ihnen senkrechte Vorderflächen und ebensolche oder nach oben verzüngte 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 läßt, 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 muß als

wahrscheinlich gelten, daß die Hinterfüllungserde in der bei *b* gezeichneten Weise sich nicht dichtschließend in den rechtwinkligen Raum an die Mauer legen, sondern eine gewisse Fuge offen lassen werde. Je größer dann der Wasserdruck und je löslicher die Hinterfüllungserde, desto leichter bilden sich dadurch, besonders in größerer 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 Vorsichtsmaßregel an, alle Abtreppungen in horizontaler Richtung mehrfach zu unterbrechen. Dies geschieht z. B. in sehr einfacher Weise dadurch, daß die sich hinter zwei verschiedenen, aber aneinander grenzenden Mauerfluchten befindenden Abtreppungen nicht in einer gleichen Höhe zusammentreffen, daß 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 Schleusenammer 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 Außenhaupt und Binnenhaupt der dort liegenden Kammerschleuse.

Fig. 58.



Wendenische. Von Einzelheiten ist noch die Herstellung der Wendenische zu besprechen. Die äußere Form derselben ergibt sich aus § 15. Für die Ausführung empfiehlt es sich, wie aus den verschiedenen Beispielen auf den Tafeln V bis IX zu ersehen, große in gutem Verbande liegende Quader von vorzüglicher Güte hierzu zu verwenden. Dieselben müssen sämtlich vor dem Versetzen die dem Thorrücken entsprechende Form erhalten, jedoch zweckmäßiger 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 angepaßt 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 Maß 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 Wendische mit dem gewählten Spielraume liegen.³²⁾

Statt der Quader sind in einzelnen Fällen mit Vorteil gusseiserne Platten zur Herstellung der Wendischen 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 Gusseisen 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 Wendische 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 Anschlagfläche der die Dichtung bewirkenden Holzteile.³⁴⁾

Mit ähnlicher Sorgfalt wie die Nischen, wenn auch ohne Ausschleifung, sind die Dammfalze zu bearbeiten. Endlich muß als Regel gelten, daß 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 großen 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 außerdem 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 großen 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, daß Moorkanalschleusen sehr oft auf weichem Untergrunde gebaut werden müssen. Eine Schleuse mit hölzernen Seitenwänden belastet aber den

³²⁾ Vergl. auch Rechter 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 Kanalfälle zweckmäßig; dies kommt der Konstruktion der Holzwände dadurch zu statten, daß die abwechselnd naß und trocken werdende, also dem Faulen besonders ausgesetzte Fläche kleiner wird und daß die Höhe der Wände überhaupt eine geringere bleibt. Denn es ist nicht zu leugnen, daß der Vorteil einer Holzkonstruktion wesentlich abnimmt, wenn die Höhe der Wände ein gewisses Maß, z. B. etwa 4 m, übersteigt, weil alsdann schwere und teure 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 zweckmäßig gelten und soll nur unter Voraussetzung solcher Verhältnisse die Konstruktion im Nachstehenden näher beschrieben werden. Als selbstverständlich kann dabei wohl gelten, daß 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, daß 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 Dremptiefe 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 übermäßig groß, nämlich 6,6 m zwischen den Thorständern, während für die Torfschiffe etwa 4 m genügt hätte. Diese größeren Maße sind aus dem Grunde gegeben, um den seinerzeit sehr schwingreich 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 großer Zahl gebaut, in einem Jahre sogar 30 derselben, und leer in die Ems geschafft. Die Kammer der Schleuse hat ferner die große Weite von 8,9 m und eine Länge von 26 m außer 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 großer Zahl hintereinander fahren.

Die Konstruktion der Schleuse ist mit der größten Sparsamkeit durchgeführt, was wohl schon daraus hervorgeht, daß die ganze Schleuse mit allen Nebenarbeiten nur 18900 M. gekostet hat. Die Ausführung geschah ferner nach vorheriger Anfertigung der Thore, der Drempele 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 Straßenverkehr so wenig als möglich zu stören. Es ist ohne weiteres klar, daß 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 größten 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 Strafsse 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 Wasserzuflufs 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 auferdem 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 grofsen Zuflufs 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 Aufständering 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 größten Länge der Kammer aufer 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 eingeramnten Wandpfählen als unzweckmäfsig bezeichnet werden. Es ist dabei nämlich in keiner Weise ein so guter dichter Anschlufs des Bodens an die Seitenwände zu erreichen und die Stabilität der sich gegen den Boden stützenden Ständer wird durchaus nicht von der der eingeramnten 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. Auferdem 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 unerlässlich.

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 theils durch allgemeine Erörterung, theils 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 ausschließliche 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 Drempele 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, daß 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 Holtenu.

Fig. 59. Lageplan,

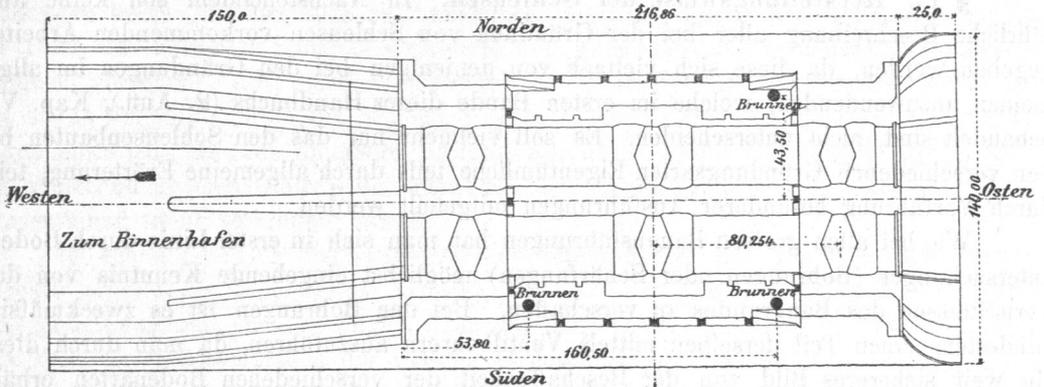
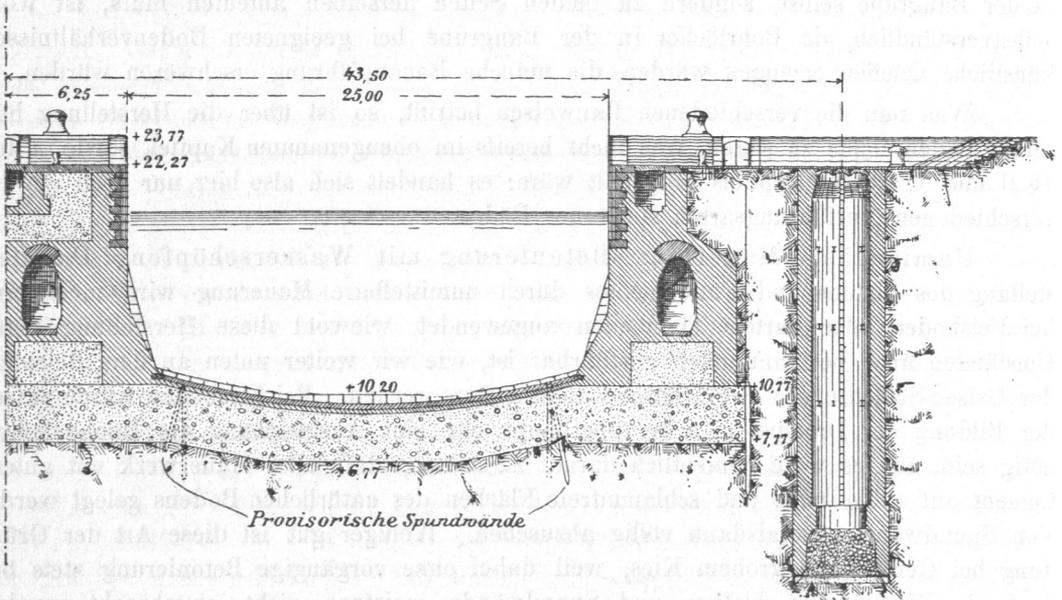


Fig. 60. Querschnitt. M. 0,0025.



Die Bodenuntersuchungen für dies Bauwerk hatten ergeben, daß 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 Süßwasser und stieg höher als der Wasserspiegel der nahen Ostsee, es stammte also nicht aus dieser, floß aber, wie die verschiedenen hohen Wasserstände in den Bohrlöchern vermuten ließen, nach derselben ab. Aus dem ziemlich großen Unterschiede zwischen den Wasserspiegeln in den Bohrlöchern und dem Wasserspiegel der Kieler Förde konnte indessen geschlossen werden, daß 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.

Wenngleich 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 Prefsluft 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 bzw. Steinen angefüllt (Fig. 60).

Die Brunnen wurden mit Kreiselpumpen versehen, die im Januar 1891 in Betrieb gesetzt wurden. Nach etwa $1\frac{1}{4}$ 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 $0,23$ bzw. $1,23$ 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 unterschrittenen, 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 verstößen, 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 Längensriss 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 Aufsenwassers 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 Aufsenwasser 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 Umlaufkanäle 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.

Die Versenkung des Betons geschieht bei großen Baugraben 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 Trafsbeton 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. 61a andeutet, nicht aber mehrere horizontale Lagen übereinanderlegt, wie es meistens geschieht (Fig. 61b).

Fig. 61.

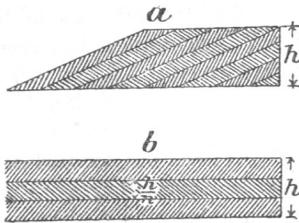
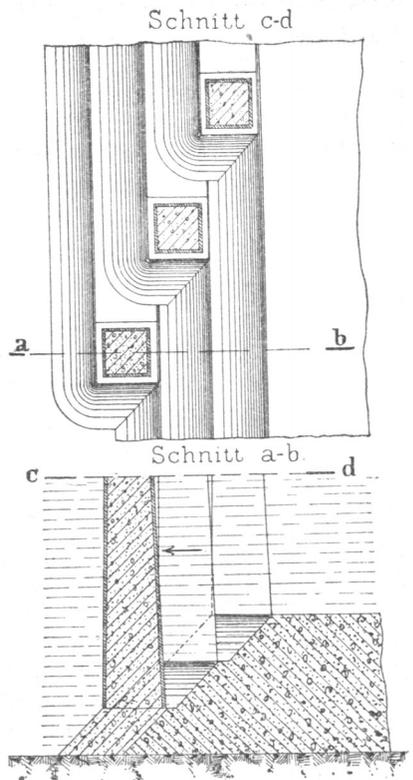


Fig. 62.

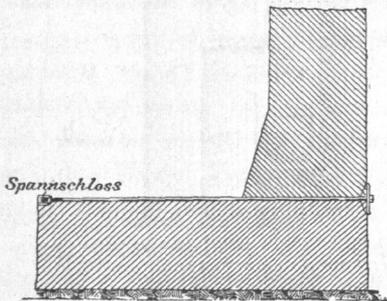


Mit Trichtern läßt sich dies in der Weise erreichen, daß man mehrere derselben von verschiedener Länge auf einem fahrbaren Gerüst unmittelbar hinter- und nebeneinander quer durch die Baugrube bewegt, wie Fig. 62 zeigt. Die Verschiebung des Gerüstes in der Richtung des Pfeiles nach Beendigung einer Querlage 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. 61a 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 $h^2 : \left(\frac{h}{n}\right)^2 n$ oder wie $h^2 : \frac{h^2 \cdot n}{n}$ — Auf alle Fälle hüte man sich, während der Betonierung längere Pausen eintreten zu lassen, da man dann gewärtigen muß, an der Unterbrechungsstelle starke Quellen zu bekommen.⁸⁹⁾

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 $80/30$ cm starken hölzernen Spännbalken, 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, daß diese Balken das Betonbett schwächen, und sich niemals genügend mit dem Beton verbinden, ist die ganze Verankerung infolge der notwendigen Stöße eine viel zu nachgiebige, um das Betonbett genügend gegen das Aufbrechen schützen zu können, wie auch

Fig. 63.



der trotz der Verankerungen erfolgte Bruch zeigte. Zweckmäßiger erscheinen daher nach Ansicht des Verfassers eiserne Anker, die man schon in Spannung versetzt, bevor im Betonbette bedeutende Zugspannungen auftreten. Man müßte 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).

In diese Rillen werden die Anker eingelegt und an beiden Enden zur Verteilung des Druckes mit großen gußeisernen Platten versehen. Um die Anker anziehen zu können, bekommt entweder das eine Ende derselben eine große Mutter, oder sie erhalten in ihrer Mitte ein Spannschloß 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 haften und ihre Dehnung verhindern. Im übrigen bleiben sie in den Rillen der Betonsohle vorläufig unbedeckt liegen. Wenn nun die Seitenwände aufgemauert werden, zieht man die Anker nach

⁸⁸⁾ L. Brennecke. Herstellung großer Betonbetten unter Wasser. Centralbl. d. Bauverw. 1890, S. 5.

⁸⁹⁾ Wegen der Dichtung solcher im Betonbett sich zeigenden Quellen wird auf folgende Mitteilungen in der Fachliteratur 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 statt-
haft ist. Auf diese Weise kann man die Zugspannungen, welche das wachsende Gewicht der Seitenwände
in der Oberfläche der Betonsohle erzeugen mußte, fortlaufend ganz oder wenigstens größtenteils 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, daß
das Eisen trotz der Einmauerung verrosten könnte, sodaß alsdann der Schleusenboden für spätere Trocken-
legungen der Kammern zu schwach wäre. Die hölzernen Anker dagegen seien als unvergänglich zu be-
trachten, da sie stets unter Wasser liegen. Demgegenüber ist zu bemerken, daß bei späteren Trocken-
legungen 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
größer 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 größeres
Gewicht, da die Verblendung fertiggestellt ist.

Man könnte die Sohle vielleicht auch nach Art des Monier-Systems durch einfaches Einlegen
einer großen Anzahl dünner Eisenstäbe verankern (vergl. § 13), wobei infolge der großen Umläche der
vielen Stäbe ein sehr inniger Verband zwischen Eisen und Beton erzielt würde, während allerdings kleine
Risse wegen der weit größeren 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 äußeren und
inneren Begrenzungen der Vorschleusen dicht nebeneinander riesige Blöcke oder Senk-
brunnen, welche ein Rechteck von 205 m Länge und etwa 57 m Breite umschließen.
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 Ter-
rain oder etwa 13 m unter der höchstbekannten Flut bis auf den in dieser Tiefe vor-
handenen groben Sand. Der Grund für die Versenkung so kolossaler Brunnen war,
daß zu beiden Seiten neben den zu erbauenden Schleusen in großer Nähe Häuser
standen und zwar auf einem sehr nachgiebigen Boden von weichem Thon. Man be-
fürchtete 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 großen Blöcke und das damit entsprechend fortschreitende
Ausheben der von ihnen umschlossenen Grube erwartete man dagegen zwar eine mächtige
Austrocknung und Senkung des umliegenden Terrains, aber eine vor ernstlichen Un-
fällen sichere Bauausführung. Dies hat sich soweit bekannt auch bestätigt.

Diese Bauweise bietet zwar den Vorteil, daß die Sohle nachträglich zwischen
die fertigen Seitenwände eingebaut wird, daß mithin nach § 6 die Standsicherheit der-
selben leichter erreicht werden kann. Die aus einzelnen, wenn auch nachträglich ver-
bundenen 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 großen Vorzug, daß sie in den schwierigsten Verhältnissen schnell und sicher zum Ziele führt und keine Anschlagsüberschreitungen befürchten läßt, 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 ausschließlich 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 Prefsluft gefüllt und von Arbeitern bestiegen, welche den Boden ebneten und schließlich 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 äußerer Breite. Es ergab sich hierbei, daß es außerordentlich schwierig war, den großen schwimmenden Senkkasten durch das Mauerwerk gleichmäßig zu belasten, sodaß sich bedeutende Verbiegungen zeigten. Jede Verbiegung aber war gleichbedeutend mit einem Riß in dem über der Decke aufgeführten Mauerwerk; 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 große 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 bzw. 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 großen Kammerschleusen nur die beiden Häupter auf je einem Senkkasten von mässiiger Größe gründete, die Schleusenkammer dagegen je nach den vorliegenden Baugrund-Verhältnissen, sei es mit oder ohne Prefsluft, getrennt ausführte. Aus dem angegebenen Grunde erscheint die Prefsluft-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 zugespitzten Stäben unter dieselbe und glaubt den Zweck vollkommen erreicht zu haben, weil nach dem Auslassen der Prefsluft nur in zwei Schachtrohren trotz des Überdruckes von 10 m das Wasser aufstieg. Es dürfte dies aber nur beweisen, daß die Decke unmittelbar neben den 10 dichten Schachtrohren gut unterfüllt war, und daß 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 gerügten Nachteil des Reißens der Mauerkörper möglichst vermindert ist, so haben alle drei doch den einen gemeinsamen und niemals zu vermeidenden Mangel, daß 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 Winkel-eisen 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, daß sich Wasseradern bilden, welche die Sohle durchziehen, soweit die eisernen Träger reichen.

Diese und ähnliche Erwägungen haben dazu geführt, die Prefsluft in einer Weise zur Ausführung von Docks und Schleusen zu verwenden, welche einen ganz gleichmäßigen 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 muß 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 schließt 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.

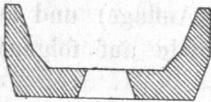
Verfasser ist der Ansicht, daß es zweckmäßiger ist, den ganzen Rohbau aus Beton herzustellen, als denselben zu mauern. Einestells ist das Einbauen des Betons

⁴²⁾ Auch für Verlängerung bereits fertiger Docks oder Schleusen läßt 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 ausschliesslich vom Maurer, weniger dagegen von der Mischung des Mörtels. Das Mischen des Betons und Mörtels aber geschieht aufserhalb der Pressluft 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 $6\frac{1}{2}$ 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.

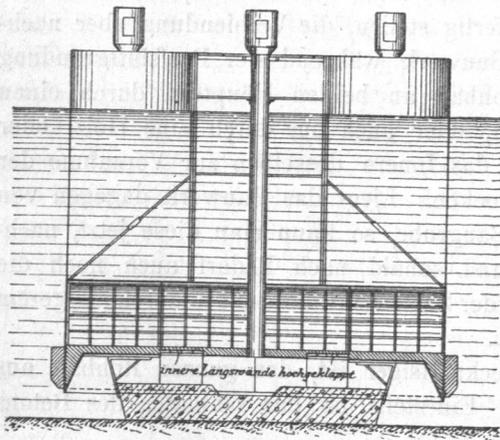


Ist der Baugrund nicht widerstandsfähig genug, so führt man den mittleren Teil der Sohle zunächst nicht aus, sondern nur diejenigen, auf denen die Seitenwände stehen und unterscheidet sie an ihrer der Schleusenaxe zugewandten Begrenzungsfläche. Auf diesen Sohlenteilen werden dann zunächst die Seitenwände 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

Fig. 65. Vorrichtung bei Pressluft-Gründungen.

M. 1:400.



besten gegen die Decke der Glocke verstrebt. Fig. 65 zeigt eine Taucherglocke während der Herstellung der beiden seitlichen Sohlenteile unter den Seitenwänden.

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 Außenflächen nicht gut verwendbar sein.

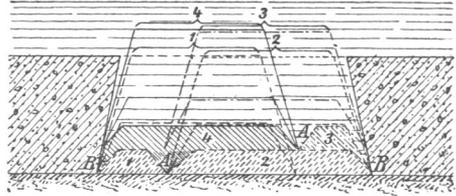
Es bleibt nun noch übrig, den mittleren Teil der Sohle (vergl. Fig. 64) ebenfalls unter Wasser mit Hilfe von Pressluft einzusetzen. Hierfür giebt es verschiedene

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

Fig. 66. M. 1:300.



Ziffern und sind durch verschieden geartete Schraffur voneinander unterschieden. Man sieht, daß die Glocke, die an Gerüsten hängend zu denken ist, sehr oft versetzt werden muß, daß 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 Zschokke geübten Verfahrens trocken legen⁴⁴⁾, nicht aber die Gräben B an der Schlitzwand. Diese bleiben stets voll Wasser, weil dieses nicht nur von beiden Enden in den Gräben dringt, sondern auch von oben durch die Fuge zwischen Schlitzwand und Schneide der Taucherglocke, der Anschluß des frischen Betons an die Schlitzwände mußte 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 großer Tiefe unter Wasser geschütteter, weil die Grabentiefe nur eine unbedeutende ist.

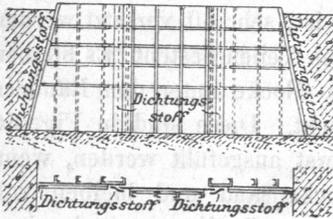
Diese Ausführungsweise erfordert verhältnismäßig kleine Prefsluft-Einrichtungen und empfiehlt sich infolge dessen zur Ausfüllung von Sohlenschlitzten bei Bauwerken, die im übrigen Teile ohne Hilfe von Prefsluft ausgeführt wurden. Hätte man z. B. die Schleusen des Nord-Ostsee-Kanals zu Brunsbüttel in 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, sodaß nach Erhärtung des Betons im Schlitz ein Reißen der Sohle ausgeschlossen gewesen wäre.

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

Wird das ganze Bauwerk mit Hilfe von Prefsluft ausgeführt, so wird man ohnehin große Prefsluft-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 Prefsluft 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

Fig. 67 u. 68. Schild.



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 unterbrochenen 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.

Bei Sohlenschlitzten 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

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

Fig. 69. Querschnitt.

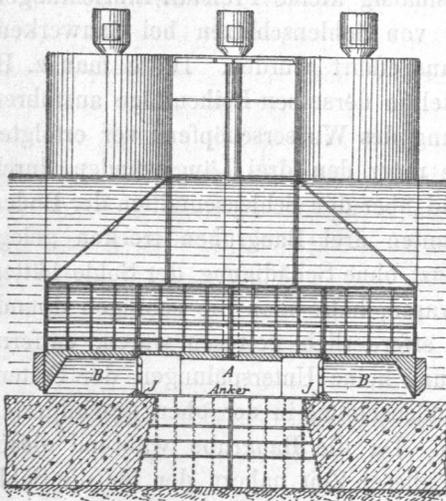
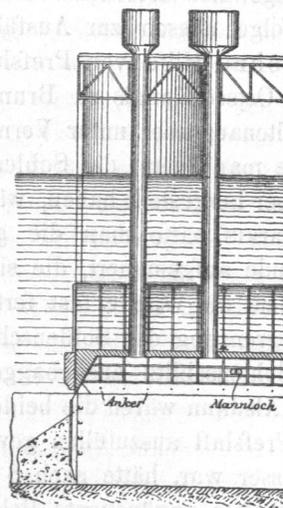


Fig. 70. Teil des Längenschnitts.



des vom Eisen und Ballast verdrängten Wassergewichtes noch mindestens gleich dem Gewicht des ganzen durch die Prefsluft ersetzten Wassers sein.

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 Prefsluft, die beiden äußeren dagegen mit Wasser gefüllt sind, während bei der Benutzungsweise nach Fig. 65 die ganze Arbeits-

kammer voll Prefsluft 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 dichtschiessenden 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 Abschlufs 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 entstünden, 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 Kammer-schleusen, bei denen nur bis zu einer gewissen Höhe des Außenwassers durchgeschleust, bei einer größeren 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 Außenwasser ein soweit möglich niedrig zu haltendes Binnenwasser abschließen. Die andere Absicht läßt sich in gewissem Maße auch durch Vergrößerung 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 außerdem 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 zweckmäßig 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.

Außer 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 größten Sparsamkeit. Dazu kam, daß nach dem Binnenhaupte hin der Untergrund etwa 4 bis 5 m tief unter der nötigen Sohlentiefe aus völlig weichem Moorschlamm bestand, daß also massive Seitenwände eine sehr teure Fundierung veranlassen 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 1:1/2 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 eingefast

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 mußten offenbar die große Kammerschleuse und die nördlich daneben liegende Abwässerungsschleuse gemauerte Seitenwände haben, dagegen hat man trotz der verhältnismäßig unbedeutenden Ersparnis 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 außen 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, außer 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 dichtschießenden Basaltpflaster versehen. So zweckmäßig 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 großen 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 welcher letzterer die Stackpfähle in F. 18 sichtbar sind. Nur im Anschluß an die Häupter ist ein 3 m breiter Streifen der Sohle mit Beton und Klinkerpflaster in 1½ 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 gußeisernen 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 Schifffahrtskanäle im mittleren Emsgebiet. Centralbl. d. Bauverw. 1882, Mai.

mit einem hohlen Halbcylinder versehenen Ständer und der Holme wird durch gußeisernerne Schuhe vermittelt, welche den Holm mit zwei vertikalen Lappen umfassen (der vordere ist eingelassen) und oben zur Aufnahme des runden Ständerfußes entsprechend hohl sind. Der obere Teil des Schuhs 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 gußeisernerne Deckplatte und außerdem noch durch ein hinter ihnen liegendes T-förmiges Walzeisen verbunden. Außerdem befinden sich auf jeder Kammerwand an fünf Stellen gußeisernerne 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 regelmässigen 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 Drempeeln 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 Fluß 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, daß statt der Kreide

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

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

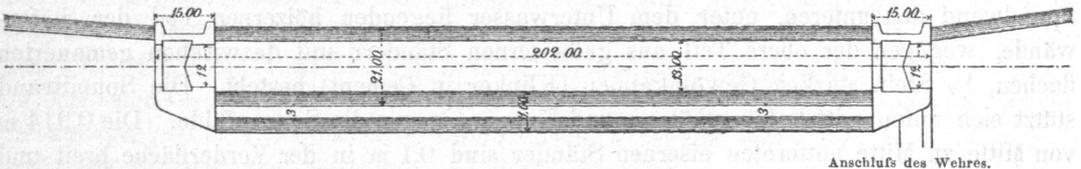
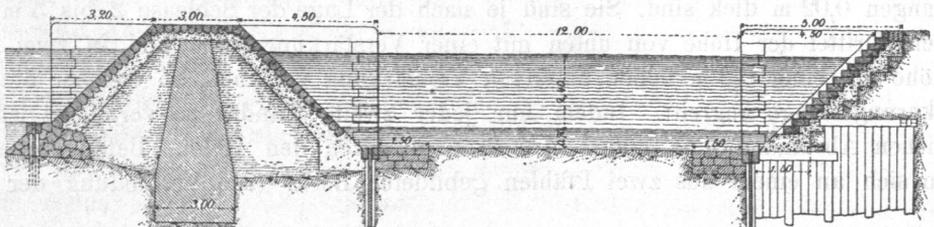
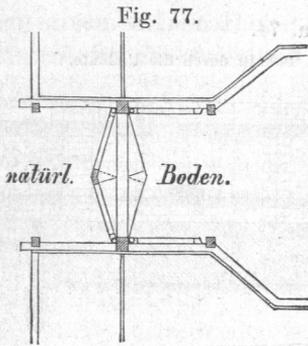


Fig. 72. Schnitt durch die Kammer. Maßstab zu Fig. 72 bis 75 = 0,006.



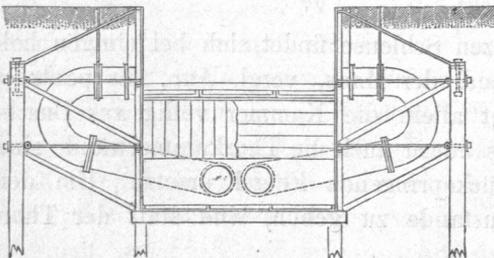


Man kann endlich bei sehr kleinen Kanalschleusen für leichte Kähne und bei gutem Boden die sämtlichen Teile der Schleuse bis auf einen hölzernen Drempel mit einer Spundwand unter demselben und neben den auf dem Drempel stehenden Thorständern beschränken, welche letztere entweder Teile eines Bohlwerks 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 größere 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 großen 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 Hauptern aus Ziegelmauerwerk, wobei sogar die Drempel nicht aus Werksteinen gebildet, sondern nur mit einer gußeisernen 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 Thorammer und den nächsten Vorsprüngen aus Ziegeln aufgemauerten, mit Klinkern verblendeten und an den Kanten und Wendenischen mit Quadern eingefassten, 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, gußeisernen 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 $\frac{1}{6}$ Anlauf oben 1,5 m, unten 2,7 m dick, also etwa $\frac{1}{6}$ 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 Aufständering verlängert sind. In der unteren Hälfte füllen gußeiserne 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 ausschließliche Verwendung von gußeisernen 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, sodass man gegen den Abfallboden sieht. Dieser ist zum Schutz gegen das Anstoßen der Schiffe zum Teil mit doppelten Holzbohlen verkleidet, während im übrigen sämtliche Boden- und Seitenflächen aus gußeisernen 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 Stößen 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 Drempele durch Einlegung von Holzschwellen zwischen entsprechende Rippen gebildet. Die Umläufe bestehen aus krummen gußeisernen 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 Maße zu erreichen und die Vorzüge des Gußeisens vor dem Holze stehen bei Berücksichtigung seiner Schwächen nicht in dem richtigen Verhältnisse zu den sehr viel größeren 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 Abschluss 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 Stemthore 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, läßt 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, daß die Kosten einer solchen Schleuse nur $\frac{2}{3}$ 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, daß 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 läßt sich indessen nicht leugnen, daß 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 zwischen- gespannten 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 entschloß 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.

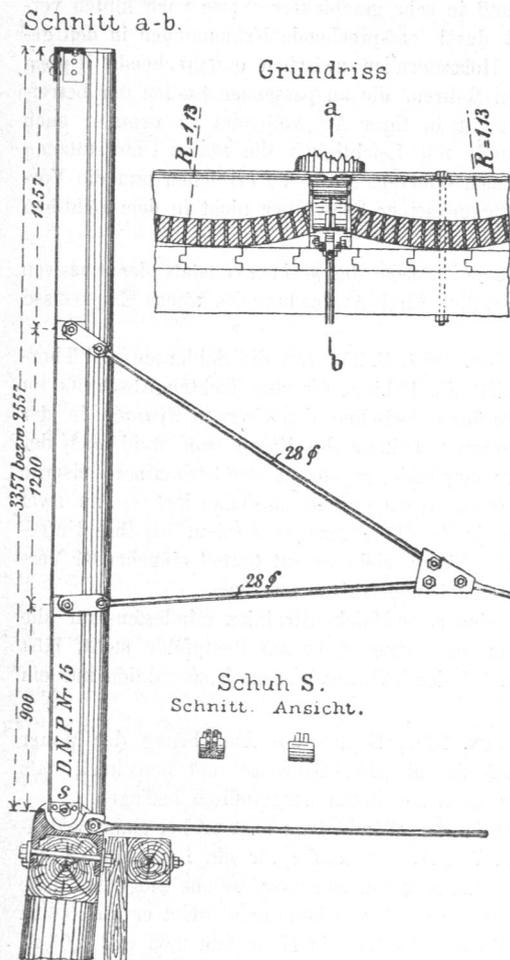


Fig. 80.

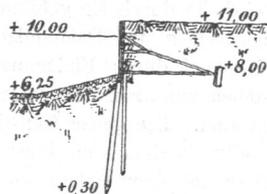
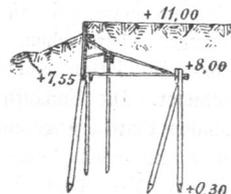


Fig. 81.



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 gefügt 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 größere 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 Schleusenammern der Kesselschleuse und der anschließenden 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 außerhalb 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 größeren, 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 gewissermaßen 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 aufer 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 auferhalb der schmalen Vorböden sich sofort im offenen Wasser befinden.

Seeschleusen haben nicht selten aufer der eigentlichen in der Nähe der Schleuse meist trichterförmig zulaufenden Einfahrt noch einen Vorhafen für mindestens ein größtes 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. Aufer 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 aufer 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 gleichmäßigen Einfluß 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 aufer einer Abrundung der äußeren Mauerteile keine besondere Einfahrt nötig. Man läßt 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 verholzte oder vergurtete Pfahlreihen anzubringen, welche eine trichterförmige Einfahrt zur Schleuse bilden.

Bei Flussschleusen 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, muß derselben eine trichterförmige Einfahrt, jedoch nur an dem oberen Haupte gegeben werden. Es wird dabei gewiß stets genügen, wenn die Mündung der Einfahrt die doppelte Schleusenweite bekommt und die Länge der Einfahrt etwa gleich der größten Weite ist. Diese Länge erscheint nötig, damit die, wenn auch langsam, sich bewegenden Schiffe doch nicht schädlich gegen die Mauern der Einfahrt stoßen, 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 Außenseite, 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 mäßiges Seeschiff von etwa 500 t ist wegen seiner Masse und wegen seiner viel größeren dem Winde ausgesetzten Fläche ohne Benutzung von Segeln oder Dampf ungleich schwieriger in eine bestimmte Richtung zu bringen als ein Fluß- oder Kanalschiff, bei welchem jene Umstände selten zusammentreffen. Vollends aber erfordern die großen Schiffe von einigen Tausend Tonnen sehr viel größere 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 daß das Schiff in seiner vollen Breite von der Strömung gefaßt und gegen das Ufer getrieben wird. Es muß 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 größere Weite, mindestens so, daß zwei größte 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 Anstoßen gegen die Ufer der Einfahrt nicht immer zu vermeiden sein. Es ist deshalb unbedingt notwendig, daß außer möglichst geraden Linien nur sanft abgerundete Ecken vorkommen. Dabei werden außerdem 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 außerdem 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 Kanals⁴⁷⁾ (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, mußten in der Verlängerung der beiden äußersten Mauern zusammenhängende Leitwerke von etwa 150 m Länge und in etwas geschweiften Form und selbst bei den zwei dazwischenliegenden Mauern der großen (mittleren) Schleuse kürzere gerade Werke bis 80 m Länge angelegt werden. Die äußeren sind zum Begehen eingerichtet, um den Schiffen frühzeitig helfen zu können und haben den in Fig. 83 dargestellten Querschnitt.

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 Flutstrom 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. Außerdem sind die Einfahrten unmittelbar an den Schleusenhauptern sowohl binnen- als aufsenwärts noch durch lange hölzerne, möglichst elastische Leitwerke gesichert. Die an die Mittelpfeiler sich anschließenden 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 Tauen 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 Anstoßen gegen Mauern oder andere Schiffe geschützt.

Fig. 82.

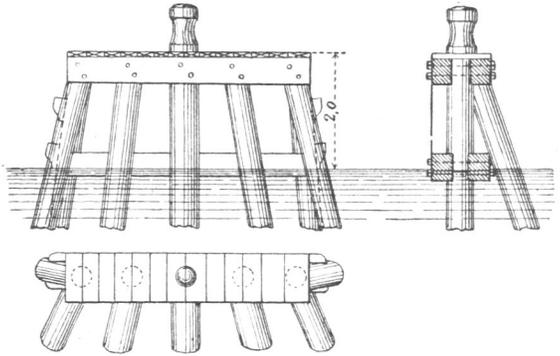
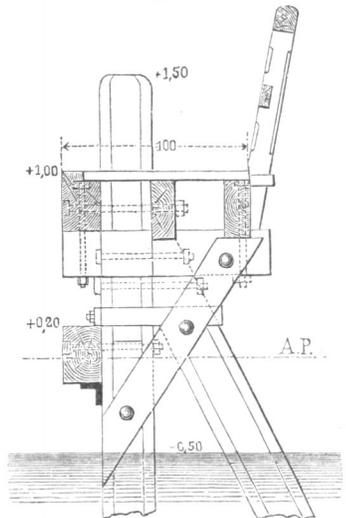


Fig. 83.



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

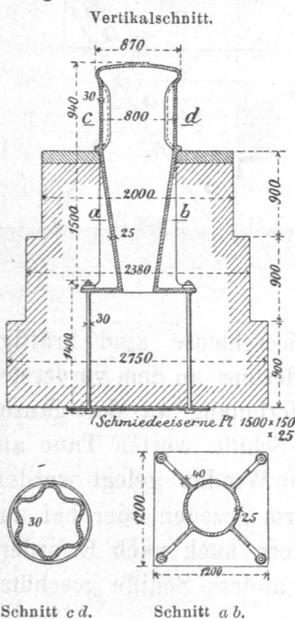
Bei Schleusen, deren Thore und Schützen durch Maschinen bewegt werden, pflegt man auch die Spills für diesen Betrieb einzurichten, gleichzeitig aber die Anordnung so zu treffen, daß, falls die Maschinenkraft versagen sollte, auch Handbetrieb möglich ist. Die Stellung der Spills wählt man so, daß, falls die Bewegungsvorrichtung der Thore versagt, Schließen 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 ausschließlich zu deren Bewegung dienen (vergl. weiter unten Fig. 85), eine Anordnung, die bei größeren 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, daß 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, daß 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 vervollkommen und bringt sie mit eigenen Versuchen dadurch in Übereinstimmung. Diese Formeln sind aber so kompliziert, daß es nicht angezeigt erscheint, dieselben wiederzugeben. Das wichtigste Ergebnis der Untersuchungen von Barbet, der zweckmäßigste Abstand zwischen Schiffsboden und DrempeI ist bereits in § 4 mitgeteilt.

Für die großen Seeschleusen in England wendet man in der Regel Spills von verschiedener Zugkraft an und setzt die stärksten, welche je 11 bis 12 Tonnen Zug

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



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 Mittelhaute 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.⁴⁵⁾

Wenn im allgemeinen die Spills nur bei großen Seeschleusen üblich sind, während bei Fluß- 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

⁴⁵⁾ Vergl. auch Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1888, S. 435.

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 außerdem 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 große 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 einschliesslich 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 Vermittlung 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 Flügelpundwände 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, Drempeeln 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 Außenseite 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 Mauertheile 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 Stofs-fuge 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 Treppenaufgang 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 Flussschleusen kommen auch Treppen von der Kammermauer abwärts bis etwas über den Unterwasserstand vor, um den Schiffen und Beamten den Verkehr zwischen Schiff und Ufer zu erleichtern. Solche Treppen liegen dann ähnlich wie in Trockendocks parallel zur Seitenwand. Es muß 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 Verschlussvorrichtungen oder die Thore einer Schiffsschleuse sind Sicherheit gegen den stärksten Wasserdruck, genügende Dichtigkeit und leichte Beweglichkeit. Dafs außerdem 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 Einflufs 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 Schifffahrt kaum hinderliche Strömung abzuschneiden