

## Centralbau oder Langhaus?

Eine Erörterung der Schallverhältnisse in Kirchen.

Von A. Sturmhoefel, Stadtbaurath a. D.

(Alle Rechte vorbehalten.)

Ueber die Schallentwicklung in Kirchen sind die Ansichten vielfach so aus einander gehend, dafs der Versuch einer Klärung hierin nicht überflüssig erscheint. Geübte Redner wissen, wie sie in einem bekannten Raume sprechen müssen; sie prüfen an einem fremden Orte vorsichtig, ob der Schall ihrer Worte auch für die entfernteren Zuhörer ausreicht; aber diese Erfahrung täuscht auch sie häufig, weil sie bei ihrer Beurtheilung nicht selten von Voraussetzungen ausgehen, die nicht zutreffen. Auf der Kirchenconferenz in Berlin im Mai 1894 hörte man wiederholt von Geistlichen die Ueberzeugung aussprechen, ein Kanzelredner würde auf 20 m oder 25 m Entfernung immer gut verstanden. Dies ist eine völlig irrige Ansicht. Es giebt eine grofse Zahl von Versammlungssälen, Begräbniscapellen usw., deren Längen bei entsprechender Breite das Mafs von 20 m kaum erreichen, und in denen der Redner doch recht schlecht verstanden wird. Es giebt anderseits mehr als doppelt so lange Räume mit guter Hörsamkeit bis auf den entferntesten Platz. Die Ausdehnung allein leistet keine Gewähr; sondern der Erfolg oder Mißerfolg hängt von der Gesamtgestaltung des Raumes und von der Ausbildung der ihn begrenzenden Flächen ab. Kirchliche Versammlungen und Fachmänner wie Zwirner und Boisserée haben aus ihren Erfahrungen heraus sich für den Langschiffbau ausgesprochen, ohne sich jedoch auf die Begründung dafür einzulassen. Den Kirchenbaumeistern indessen hat das Rechteck nie genügt. Sie strebten über die geraden Linien nach allen Seiten hinaus, um für ihren Bau innen wie aufsen reizvollere Wirkungen zu erzielen. Interessante Centralbauten waren schon in frühchristlicher Zeit entstanden und haben bis heute als anregende Vorbilder gedient. So glaubte Verfasser, der seit Jahren mit praktischen Versuchen bezüglich der Schallentwicklung sich beschäftigt, die Formen des Langbaues wie der Centralkirchen einer eingehenden Betrachtung betreffs ihrer Hörsamkeit unterziehen zu sollen. Die Untersuchung ergab die zweifelloste Ueberlegenheit des Rechtecks, bei dem nachgewiesen werden konnte, dafs störende Reflexe in weit geringerer, günstigeren directen Schall unterstützende Reflexe dagegen in wesentlich gröfserer Zahl und Wirkung sich bilden, als bei den Centralformen.

In meiner „Akustik des Baumeisters“\*) hatte ich die überraschende Thatsache angeführt, dafs das Gesetz, nach welchem die Schallstärken sich in demselben Mafse vermindern, in dem die Quadrate der Entfernungen zunehmen, durch die Versuche thatsächlich niemals und nirgends bestätigt wird. Diese Versuche sind mit einem mehr und mehr vervollkommenen Instrumente seitdem fortgesetzt und die wichtigsten Ergebnisse davon in dieser Schrift mitgetheilt worden. Es hat sich aus ihnen die Lösung finden lassen, wie die scheinbar widersprechenden Er-

gebnisse dennoch auf das theoretische Grundgesetz zurückzuführen sind. Der einfache und wenig kostspielige Fallstächenapparat giebt Baumeistern wie Predigern ein Mittel an die Hand, sich über die Schallverhältnisse in den Kirchen durch selbstausgeführte Messungen ein begründetes Urtheil zu verschaffen. Die Fallhöhen geben unmittelbar die Schallstärken an, welche im Vergleich zur Schallstärke auf 30 m Entfernung im Freien für die weiter abliegenden Plätze im Schiffe wie auf den Emporen zur Erregung der Reizschwelle ausreichen. Die gröfsten Fallhöhen zeigen diejenigen Orte an, wo man am wenigsten gut hört. Dies wird der Kanzelredner auszugleichen haben, indem er besonders dorthin seine Stimme richtet. Störende Reflexe erkennt man bei einem kurzen scharfen Schalle an dem zu lange nachschleppenden Nachhall. Dieser lästige Nachhall, der gerade in kleineren Kirchen häufig das Verständnifs der Rede trübt, wird stets von ebenen, glatten Flächen verursacht, deren Lage man unschwer ermitteln kann, um dann dem Uebel abzuhelfen. Auch bei Kathedralen mit Langschiffbauten von bedeutenden Abmessungen, wie sie aus dem Mittelalter erhalten und nach deren Vorbild in neuerer Zeit entstanden sind (Hamburg, Leipzig usw.), wird es weniger die Länge des Hauptschiffs sein, als besonders die ebenen, kahlen Wand- und Deckenflächen mit ihren störenden Reflexen, was die Akustik dieser Kirchen als wenig oder gar nicht gelungen erscheinen läfst. Zur Klarstellung dieses Punktes werden in einem Sonderdrucke,\*) der diesen Aufsatz erweitern soll, die Erörterungen der Schallverhältnisse an einem Schema mit grofsen Mafsen geführt werden. Die Verhältnisse in den heutigen Grofsstädten drängen aus mehr als einem Grunde auf die Errichtung von Gotteshäusern hin, welche mehrere Tausend Andächtige aufzunehmen imstande sind. Bau, Unterhaltung und Verwaltung gestalten sich dadurch wirtschaftlich so erheblich vortheilhafter, dafs die bequeme Behaglichkeit mehrerer kleiner Kirchen dagegen zurückstehen mufs. Die Beschaffung des Bauplatzes und der Geldmittel werden damit vereinfacht und, rationell angesehen, auch erleichtert. — Von den Fachgenossen verläfst sich noch mancher, was die Hörsamkeit seines Baues anlangt, auf den gütigen Zufall (wie Ch. Garnier) und meint, dafs schliesslich, wenn der Mißerfolg nicht mehr zu läugnen ist, immer noch nachgeholfen und abgeholfen werden könne. Diese Aufgabe ist mir kürzlich wiederholt gestellt worden bei Sälen, die nur mäfsige Abmessungen aufwiesen. Es konnten Mafsregeln getroffen werden, die mit immerhin nicht unbedeutenden Kosten und Störungen den lästigen Nachhall beseitigten, ohne den Schall allzusehr abzustumpfen. In gröfseren Räumen wird man jedoch hiermit nicht auskommen; harte Eingriffe in die Architektur, grofse Aufwendungen werden erforderlich werden, und das führt dann zu Auseinandersetzungen, die für unser Fach wenig erfreulich sind.

\*) A. Sturmhoefel, Akustik des Baumeisters oder der Schall im begrenzten Raume. Berlin 1894.

\*) A. Sturmhoefel, Centralbau oder Langhaus? Sonderdruck aus Zeitschrift f. Bauwesen. Jahrg. 1897. 8<sup>o</sup>. Mit 12 Abbild. 2 M.

Schallstärke. Die Stärke des Schalls kann unendlich verschieden sein. Der Donner eines schweren Belagerungsgeschützes und das kaum vernehmbare Geräusch einer zu Boden fallenden Stecknadel zeigen die äußersten Grenzen der Zumuthungen an unser Gehör.

Erfolgreiche Bemühungen Schallstärken zu messen sind erst in neuerer Zeit gemacht worden. Wie die Klänge aus verschiedenen Tönen, so sind auch alle Geräusche aus verschiedenen Schallschwingungen zusammengesetzt. Wenn ein kleiner Hammer auf ein leichtes Holzplättchen schlägt, so schallen nicht allein das Plättchen und seine Unterlager, sondern auch Kopf und Stiel des Hammers. Schon bei diesem einfachsten Beispiel ist der Vorgang ein verwickelter. Man hat sich überzeugen müssen, daß nur diejenigen Schallstärken mit einander verglichen, d. h. gemessen werden können, welche dieselbe Schallmischung oder Schallfarbe haben, d. h. aus derselben Schallquelle stammen. Aber auch unter dieser Einschränkung entgehen dem ungeübten Ohre Unterschiede bis zu 20 v. H. der Stärke! Ferner mußte man einen Anfangspunkt für die Untersuchungen festlegen. Wird der Schall eines Körpers, der einem bestimmten Beobachter auf eine gewisse Entfernung noch nicht vernehmbar ist, ganz allmählich verstärkt, bis er gerade hinreicht, in dem Ohre dieses Beobachters eine kleinste Schallempfindung auszulösen, so nennt man diese kleinste Empfindung die Reizschwelle.

Die Reizschwelle bezeichnet also für einen bestimmten Hörer, für eine bestimmte Entfernung und eine bestimmte Schallquelle (z. B. den später zu behandelnden Fallstächenapparat) den Beginn des Hörens. Mit derselben Person kann man nun die Schallstärken für die zweifache, vierfache usw. Entfernung ermitteln und daraus Schlüsse über die Abnahme der Schallstärke ziehen, die für die Akustik von der größten Bedeutung sind. Diese Versuche werden aber nicht über zwei bis drei Stunden auszudehnen sein, da in einem längeren Zeitraume die Empfindlichkeit des Ohres sich leicht ändert.

Ebene und mit Relief versehene Flächen in ihren verschiedenen Reflexionswirkungen. Wären Wände und Decke eines Raumes ebene Flächen, so würde an jeder derselben auch nur ein Reflex entstehen, dessen Reflexionspunkt nach dem Stande des Redners und des Hörers genau construirt werden könnte. Diese kräftigen Reflexe würden der Länge ihres Umweges gegen den directen Schall entsprechend nach einander beim Zuhörer eintreffen und dort die Gesamtwirkung erhöhen, wenn sie sich nur wenig vom directen Schall trennen, dieselbe aber um so mehr beeinträchtigen, je später sie dort anlangen. Sind die Flächen aber nicht eben, sondern mit körperlichen Ornamenten, mit Reliefs ausgestattet, so bildet sich an den vielen kleinen Flächen dieser Reliefs eine sehr große Zahl von in ihrer Einzelwirkung schwachen Reflexen, deren Gesamtwirkung jedoch erheblich ist. Besonders aber können die Reflexe, weil sie nicht wie von der ebenen Wand in einem Augenblicke und wie mit einem Schlage sondern allmählich, nach und nach bei dem Hörer eintreffen, niemals stören. Allerdings ist die Wirkung der Gesamtreflexion einer reliefbedeckten Wand geringer als die einer glattgeputzten. Diese reflectirt mit 80 bis 84 v. H. Nutzeffect, jene nur mit 64 v. H. Trotz dieser 36 v. H. Verlust wird man die mit Relief bedeckte Wand in allen zweifelhaften Fällen vorziehen. Die Schallreflexion ähnelt hierbei der Lichtreflexion auf einer Wasserfläche. Ist diese ruhig, so zeigt sie nur ein einziges, genaues Spiegelbild, beispielsweise des Mondes.

Ist sie bewegt, so sieht man auf einer großen Zahl von Wellen die Lichtreflexe leuchten.

Mehrmalige Reflexion. Aber noch eine weitere Erscheinung findet sich bei Reliefs. Bei ihrem meist dem Halbkreis sich nähernden Querschnitt werfen sie den Schall nicht nur nach dem Zuhörer, sondern auch nach allen benachbarten Reliefs, sodafs er von dort schliesslich ebenfalls beim Zuhörer anlangen kann. Es läßt sich nachweisen, daß aufser der einmaligen eine zwei- und mehrmalige Reflexion von den Reliefs nach fast allen Plätzen des Zuhörerraumes stattfindet. Dadurch würde eine außerordentliche Schallverstärkung eintreten, wenn nicht die Schallkraft um so mehr sich herabminderte, je öfter der Verlust bei der jedesmaligen Brechung eintritt und je länger die entstehenden Wege der Reflexe werden. Deutlich zeigt sich die Wirkung mehrmaliger Reflexion in allen langen, schmalen und niedrigen Räumen, so wie dort, wo in den Winkeln und Ecken eines Raumes zwei Wände, Fußboden oder Decke zusammentreffen.

Schallinterferenz. Dieses Uebermaß der Reflexion könnte lästig werden, wenn nicht ein erheblicher Theil der Wirkung durch die Gegenwirkung der Schallinterferenzen aufgehoben würde. Interferenzen giebt es bei allen Wellenbewegungen: beim Schall, Licht, bei der Elektrizität usw. Das Gesetz ist folgendes: Fallen zwei gleich starke und gleich lange Schallwellen derart zusammen, daß die positive Phase der einen (Luftverdichtung) genau die negative Phase der anderen (Luftverdünnung) deckt, so heben sie sich gegenseitig auf. Gleiche Phasen vereinen sich zur Summe, entgegengesetzte vermindern sich zur Differenz ihrer Stärken. Das Vorhandensein der Interferenzen wird am besten bewiesen, indem man eine angeschlagene Stimmgabel auf eine gerade Bretttafel setzt. Der Ton wird dadurch bekanntlich außerordentlich verstärkt, weil die großen Flächen der Tafel mitzuschwingen gezwungen werden. Von der Vorderfläche wird an die Luft eine positive Phase in demselben Augenblicke abgegeben, in welchem die Hinterfläche eine negative Phase erzeugt. Dreht man nun das Brett mit der Gabel um eine seiner Seiten, bis die Verlängerung seiner Fläche das Ohr trifft, so sinkt die Tonstärke auf ein Mindestmaß, weil die gleich starken positiven wie negativen Schwingungen der Vorder- und Hinterfläche der Tafel zu gleicher Zeit im Ohr eintreffen und sich gegenseitig aufheben. Nur der schwache Ton der Stimmgabel selbst ist allein noch zu hören. Derartige vollkommene Interferenzen sind in der Praxis seltene Ausnahmen, die man künstlich construiren muß. Die menschliche Stimme entsendet nicht gleichzeitig neben einander, sondern nur nach einander die wechselnden Phasen unmittelbar nach dem Zuhörer. Die Reflexe eines Innenraumes können nun wegen der sehr verschiedenen Länge ihrer Umwege beim Zuhörer mit denselben oder mit entgegengesetzten Phasen wie der directe Schall im Ohr desselben eintreffen und dementsprechend die Schallwirkung verstärken oder vermindern. Es ist sogar möglich, daß in einem Augenblicke die Kraftsumme der positiven genau gleich ist der Kraftsumme der gleichzeitigen negativen Phasen und auf diese Weise die Gesamtwirkung = 0 wird; ebenso, daß alle Phasen positiv (oder negativ) sich deckend im Ohre anlangen und der Größtwerth der Gesamtwirkung eintritt. Setzt man diese vollkommene Häufung = 1, wie die vollkommene Aufhebung = 0, so wird man sich bei der unendlichen Zahl der Reflexe bald darüber klar, daß diese Grenzwerte eben so selten eintreffen

werden, wie der genaue Durchschnitt der Gesamtwirkung  $= 1/2$ . Das gewöhnliche wird sein, daß die Gesamtwirkungen um  $1/2$  herum schwanken, und zwar bei Tönen etwa von  $2/5$  bis  $3/5$ , bei Geräuschen von  $3/7$  bis  $4/7$  der stärksten Wirkung. Bei Tönen liegen die Grenzwerte weiter, weil bei gleichen Wellenlängen ein vollkommeneres Häufen oder Aufheben wahrscheinlicher ist, als bei den ungleichen Wellenlängen der Geräusche. Die Interferenzen bringen es mit sich, daß ein gleich starker Schall auf dieselbe Entfernung und für dasselbe Ohr verschieden kräftig wirkt, weil die geringste Bewegung des Zuhörers, wie sie beispielsweise schon durch den Pulsschlag hervorgerufen wird, auch eine andere Combination der Reflexe zur Folge hat. Das Urtheil des Hörers aber wird sich nach den stärkeren Eindrücken richten; bei Tönen nach der  $3/5$ , bei Geräuschen nach der  $4/7$  Wirkung. Für die Richtigkeit dieser Entwicklung sprechen nicht nur die Erfahrungen bei den Schallmessungen, sondern auch die Thatsache, daß man, aus größerer Entfernung sich nähernd, zuerst die Vocale (Tonklänge) und später die Consonanten (Geräusche) eines Zwiegesprächs vernimmt, dessen Verständnifs erst hiermit beginnt.

Die Rede. Aus Vocalen und Consonanten setzen sich die Silben, aus diesen die Worte, aus den Worten die Rede zusammen. Zur verständlichen Rede gehört, wie eben ausgeführt, vor allem die deutliche Aussprache der Consonanten. Ist die Bedingung erfüllt, so wird das Wort auch bei mäßiger Klangstärke der Vocale in größeren Räumen verstanden werden. Beim Flüstern wird den Vocalen nur der schwache Eigenklang der Mundhöhle gegeben, der Brustton fällt fort, da die Stimmbänder in Ruhe bleiben, und dennoch wird bei scharfer Aussprache der Consonanten jede Silbe im entferntesten Winkel (z. B. eines Theaters) gehört. Die althebräische Schrift weist nur Consonanten, keine Vocale auf; die überwiegende Bedeutung der Consonanten war also schon vor 2000 Jahren anerkannt. Leider scheint diese Grundregel für das Sprechen recht vielen Rednern unbekannt zu sein. Sie steigern die Stimme bis zum Schreien der Vocale, vernachlässigen aber die Consonanten und sind dann bestürzt, wenn sie kaum noch auf 15 m weit verstanden worden sind! Dabei wird ein solcher Vortrag für alle Hörer zur Pein, während ein richtiges Ebenmaß zwischen Selbstlautern und Mitlautern das Begreifen des geistigen Inhalts nicht nur überhaupt erst ermöglicht, sondern durch die Schönheit der Gesamtwirkung auch zu einem Kunstgenuß erhöht.

Nächst der sauberen Aussprache ist die Lage der Klangfarbe von Bedeutung. Aus seiner natürlichen Anlage muß der Vortragende eine ihm bequeme mittlere Tonhöhe wählen, um nach dem Inhalt seines Stoffes die Tonlage steigen oder fallen lassen zu können, wie es der Eindruck, den er beabsichtigt, verlangt. Auch im gewöhnlichen Leben kennzeichnet ja das Erhöhen der Stimme ein Wachsen der Erregung, das Sinken des Tons die Beruhigung.

Zeitmaß. Ein Redner pflegt in der Secunde etwa vier (ein Prediger gewöhnlich sogar nur drei) Silben zu sprechen. Zwischen zwei Silben ist immer eine geringe Zeit nöthig zum Umstellen des Sprachorganismus für den Wechsel ihrer Buchstaben. Bei vier Silben in der Secunde wird man für die Silbe  $1/5$  Secunde und für die Pause  $1/20$  Secunde rechnen können. In  $1/20$  Secunde macht der Schall einen Weg von  $\frac{343,33}{20} = \text{rund } 17 \text{ m}$ . Die Reflexe, welche gegen den directen Schall einen 17 m längeren Weg machen müssen, beginnen im

Ohre des Zuhörers demnach  $1/20$  Secunde später, fallen dort, da ihre Dauer gleich der des directen Schalls  $= 1/5$  oder  $4/20$  Secunden ist, auf die Zeit von  $3/20$  Secunden mit der directen Schallwelle zusammen und mit ihrem Rest von  $1/20$  Secunden hinterher in die folgende Pause. Das würde bei Reflexen von reliefbedeckten Flächen nicht weiter stören. Bei Reflexen von glatten Flächen aber, die mit einem Mal und schlagähnlich im Ohre anlangen, würde dies nur erträglich sein, wenn sie sich möglichst eng an den directen Schall anschließen, ihr Umweg also höchstens 8 m, besser noch höchstens 5—6 m betrüge. Ist ihr Umweg aber größer als 17 m, so fallen sie für das Ohr bereits in die folgende Silbe und stören, weil sie nicht zu dieser gehören, das Verständnifs empfindlich. (In einer Kirhhofs-capelle von 18 m Länge und 10 m Breite wird eine Grabrede gehalten. Die dem Prediger vor dem Altar gegenüber liegende Eintrittswand ist glatt geputzt. Ihre Reflexe kommen bei den in der Mitte der Länge sitzenden Zuhörern nach einem Umwege von  $2 \cdot 9 = 18 \text{ m}$  an, fallen daher schon in den Beginn der nächsten Silbe! Noch größer wird der Uebelstand für die davor liegenden Plätze. Aehnliche Bauten, die trotz mäßiger Ausdehnung mangelhafte Hörverhältnisse haben, giebt es überraschend viele. Wäre die Eintrittswand architektonisch gegliedert, ihre Felder mit Relief bedeckt, so würde der störende Nachhall beseitigt sein.) Die Reflexe von glatten Wänden beeinträchtigen schon das Verständnifs, wenn sie in den zweiten Theil der Pause zwischen zwei Silben fallen; denn auch diese Pausen müssen einigermaßen erhalten bleiben.

Zum Erkennen der Schallentwicklung gehört die durch Versuche zu erreichende Feststellung der Reflexwirkungen, die im Innern wie im Freien — überall — von den benachbarten Körperoberflächen ausgehen. Nur indirect kann dies geschehen, indem man aus der durch die Mitwirkung der Reflexe alterirten theoretischen Schallabnahme Rückschlüsse auf die Kraft der Reflexe macht. Die einfachsten Ver-

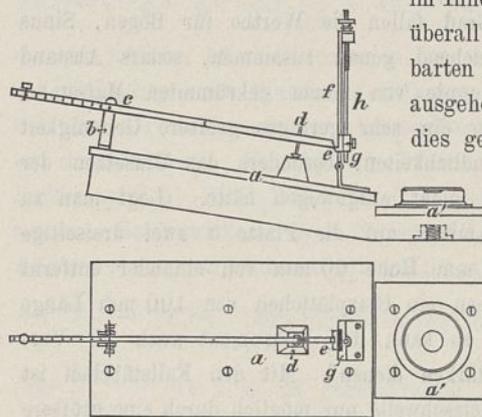


Abb. 1.

suche im Freien mit nur einer reflectirenden Fläche (Bodenfläche) kann man etwa als eine Gleichung mit einer Unbekannten, die Versuche in Innenräumen als eine mit mehreren Unbekannten ansehen. Hierzu gehört ein Instrument, mittels dessen verschiedene, genau meßbare Schallstärken hervorgebracht werden können. Ein solches Instrument ist der Fallstäbchenapparat, das Ergebnis mehrjähriger Arbeit, das letzte einer ganzen Reihe von Versuchsinstrumenten. Der Apparat hat den Vorzug der Einfachheit und Handlichkeit, verändert auch beim Wechsel des Belastungsgewichts nicht seine Schallfarbe, zeigt hinreichend genau die Fallhöhen bis auf Zehntelmillimeter (für geübte Augen Zwanzigstelmillimeter) an und besitzt für alle Entfernungen von 20 bis 100 m die nöthige Empfindlichkeit. Auf der Holzplatte a (Abb. 1) von 150 mm Länge, 80 mm Breite und 4 mm Dicke ist ein Lagerbock b aufgeschraubt, in welchem sich zwischen zwei Körnerspitzen das Fallstäbchen von 2,5/3,5 mm Querschnitt mit

geringster Reibung dreht. Die Länge des Stäbchens von der Drehachse  $c$  bis zur messingnen Fallschraube  $d$  ist 100 mm, von dort bis zum Ende  $e$  20 mm. Diese Endkante ist durch eine feine Metallschneide gegen Abnutzung gesichert; sie kann von beliebigen Höhen des Schiebers  $g$  auf den kleinen Holzambofs über der Platte  $a$  hinabfallen. Der Schieber ist mit einem Nonius ausgestattet; er gleitet auf dem Millimetermafsstab  $f$  und der Spindel  $h$  frei entlang, bis er auf letzterer festgeklemmt und dann mittels der oberen Mikrometerschraube fein gestellt wird. Der gewöhnlichen Ruhelage des Stäbchens entspricht 0 des Nonius auf 0 des mit einem Gelenk auf der Platte  $a$  befestigten Mafsstabes. Jenseits der Drehachse hat das Fallstäbchen eine Länge von 52,5 mm und ist von dort aus in Abständen von 5 mm mit feinen, senkrechten Bohrlöchern versehen, in die der zugespitzte Dorn eines Gegengewichts von 1,19 Gramm Schwere paßt, welches in 50 mm Entfernung von der Drehachse bei wagerechter Lage dem Gewicht des Fallstäbchens nebst Fallschraube das Gleichgewicht hält. Steckt man das Gegengewicht auf 45 mm Entfernung von der Drehachse ein, so gleicht es  $\frac{9}{10}$  des fallenden Schenkels ab, der mit  $\frac{1}{10}$ , also mit Berücksichtigung des größeren Hebelsarms nur mit rund 0,06 Gramm — einem sehr geringen Gewichte — auf den Ambofs fällt. Vor der Platte ist, mit derselben einen Winkel von 9 Grad bildend, eine kleinere quadratische Platte  $a^1$  von derselben Dicke und 60 mm Seite angeordnet, welche die Dosenlibelle zur Wagerechtheilung des Instruments trägt. Unter der Libelle befindet sich die Schraubenmutter, um das Ganze auf einem leichten Gestell zu befestigen. Durch Versetzung des Gewichtchens, durch Veränderung der Fallhöhen sind die verschiedensten Combinationen der Schallwirkungen möglich. Für Winkel bis 9 Grad fallen die Werthe für Bögen, Sinus und Tangenten hinreichend genau zusammen, sodafs Abstand genommen werden konnte von einem gekrümmten Mafsstabe, dessen theoretisch um ein sehr geringes gröfsere Genauigkeit die gröfsere Umständlichkeiten, besonders das Umsetzen der Bögen in Sinus usw. nicht aufgewogen hätte. (Legt man zu beiden Seiten des Ambofs auf die Platte  $a$  zwei dreiseitige Korkprismen von 14 mm Höhe 60 mm von einander entfernt und über diese Prismen ein Glasplättchen von 100 mm Länge und 30 mm Breite, so kann das Instrument auch zur Vergleichung von Tonstärken dienen.) Mit den Fallstäbchen ist die Feststellung der Reizschwelle nur möglich durch eine gröfsere Zahl von Versuchen (mindestens 10—12), aus deren Ergebnissen das Mittel zu nehmen ist.

Schallkraft des Instruments. Die Kraft, mit der ein fallender Körper auf einen ruhenden aufschlägt, ist proportional dem Producte aus seinem Gewicht und dem Quadrate seiner Endgeschwindigkeit. Die Endgeschwindigkeit ist gleich der Quadratwurzel aus der Fallhöhe selbst, sodafs bei gleichem Gewichte (bei gleicher Stellung des Gegengewichts) die Fallhöhen unmittelbar die Verhältniszahlen der entsprechenden Aufschlags- oder Stofs-Kräfte darstellen. Diesen Kräften proportional wird auch die Schallkraft des Instrumentes sein. Nach der Theorie müfste nun für die doppelte Entfernung die vierfache Schallkraft oder beim Fallstäbchen bei derselben Belastung die vierfache Fallhöhe zur Erregung der Reizschwelle erforderlich sein. Nach allen bisher angestellten Versuchen trifft dies indessen nirgends zu. Im begrenzten Raume, in Sälen usw. war das durch die Mitwirkung der Reflexe unschwer zu erklären.

Anders lag die Sache auf freiem Felde, wo es für alle Entfernungen stets die gleiche in derselben Weise reflectirende Fläche (die Bodenfläche) gab.

Schallabnahme auf freiem Felde. Die hierfür angestellten Versuche fanden auf einer grofsen Waldblöfse in den Rüdersdorfer Forsten statt. Das Gegengewicht wurde 45 mm von der Drehachse eingesteckt, um mit dem kleinsten Gewichte ( $\frac{1}{10}$ ) des Fallstäbchens zu arbeiten und so möglichst grofse Fallhöhen zu erzielen. Von den vielen Messungen lasse ich hierunter nur die Ergebnisse zweier folgen, die wenig oder garnicht durch Wind, Vogelgeschrei oder andere äufsere Hindernisse gestört wurden. (Von diesen zahllosen Störungen weifs nur der etwas, der solche Versuche angestellt hat!)

Am 11. Juli 1895 bei nicht völlig stiller Luft wurde die Reizschwelle erreicht

I.	auf 20 m Entfernung bei	1,8 mm Fallhöhe
	" 40 " " " "	5,1 " "
	" 80 " " " "	16,5 " "

Am 17. Juli 1895 bei ganz stiller Luft

II.	auf 20 m Entfernung bei	1,25 mm Fallhöhe
	" 40 " " " "	3,64 " "
	" 80 " " " "	11,40 " "

Hiernach trat die Reizschwelle ein für die doppelte Entfernung bei dreifacher, für die vierfache Entfernung bei neunfacher Fallhöhe, während nach den Kräftegesetzen die vierfache, beziehungsweise sechzehnfache Fallhöhe hätte erforderlich sein müssen. Die für die Neueinschonung rauh gepflegte Fläche war mit Gras und Heidekraut bewachsen, im übrigen aber in ihrer ganzen Ausdehnung gleichmäfsig. Bei meinen früheren Messungen mit noch unvollkommenen Instrumenten hatte ich jene Erscheinungen aus Vorgängen der Hörthätigkeit zu erklären versucht. Der erhebliche Einflufs der Interferenzen war mir noch nicht hinreichend klar geworden. Je länger indessen die Versuche mit dem genaueren Fallstäbchen währten, um so mehr lernte ich einsehen, dafs alle diese Herleitungen (Akustik des Baumeisters) nicht stichhaltig waren.

Wachsen der reflectirenden Flächen. Der Widerspruch zwischen Theorie und Praxis war nur zu lösen, wenn die Bodenfläche nicht einen stetigen, sondern einen mit der Entfernung wachsenden Reflexionseffect aufserte. Und dies konnte hier nachgewiesen werden. Alle Schallwellen (Abb. 2), welche von dem einen Brennpunkte  $a$

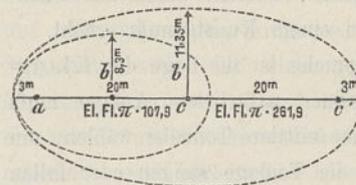


Abb. 2.

von dem einen Brennpunkte  $a$  einer Ellipsenfläche ausgehen, werden von allen Punkten dieser Fläche nach dem anderen Brennpunkte  $c$  reflectirt. Denkt man sich das Instrument in dem einen, den Hörer in dem anderen Brennpunkte auf 20 m Entfernung und nimmt bei der kurzen Dauer des Fallschlags für alle Reflexe, die den directen Schall wirksam zu unterstützen geeignet sind, einen grössten Wegeunterschied von 6 m an, so hat die reflectirende Ellipsenfläche bei 20 m Entfernung einen Inhalt  $= \pi \cdot 107,9$ , bei 40 m Entfernung zwischen Instrument und Hörer  $= \pi \cdot 261,9$ ; letztere Fläche ist also 2,6mal gröfser, wird also, da die reflectirenden Punkte in beiden Fällen gleichmäfsig vertheilt sind, in demselben Verhältnifs stärker wirken. Sieht man von allen Zufälligkeiten und Fehlern ab und setzt für 20 m

Entfernung die Fallhöhe = 1,20 mm, für 40 m Entfernung die Fallhöhe = 3,6 mm, so hat man bei einer Reflexionswirkung der Bodenfläche von 18 v. H. für

20 m Entf. die Schallstärke  $S = 1,2 + 1,2 \cdot 0,18,$   
 40 " " " "  $S' = 3,6 + 3,6 \cdot 0,18 \cdot 2,6.$   
 Hieraus folgt  $S = 1,416,$   
 $S' = 5,285.$

Nach den Kräftegesetzen sollten sein  
 $S' = 4 \cdot S = 4 \cdot 1,416 = 5,664.$

Der Unterschied beider Resultate  
 $5,664 - 5,285 = 0,379$

ist durch die Mitwirkung der Reflexe höherer Ordnung zu erklären.

In demselben Mafse wächst die reflectirende Fläche bei 80 m Entfernung gegenüber derjenigen bei 40 m Entfernung, sodafs aus diesen Beispielen erhellt: Auf die doppelte Entfernung äufsert die dreifache Fallhöhe durch die Mitwirkung der Reflexe immer die von den Kräftegesetzen verlangte vierfache Schallstärke.

Im Walde. Noch stärker wirken die Reflexe in einem Hochwalde; sie würden dies bei der hohen Zahl der Reflexflächen in noch größerem Mafse thun, wenn nicht das gegenseitig sich Decken dieser Flächen einen erheblichen Theil derselben unwirksam machte.

Am 11. Juli 1895 im Hochwalde bei etwas bewegter Luft und  $\frac{1}{10}$  Belastung wurde die Reizschwelle erreicht:

- III. auf 20 m Entfernung bei 1,6 mm Fallhöhe,
- " 40 " " " 4,0 " "
- " 80 " " " 9,8 " "

Desgleichen am 24. Juli 1895 bei geringer Luftbewegung:

- IV. auf 10 m Entfernung bei 0,54 mm Fallhöhe,
- " 20 " " " 1,35 " "
- " 40 " " " 3,5 " "
- " 80 " " " 8,6 " "

(Unmittelbar nach dieser Messung wurde mit demselben Gehülfen in einem ländlichen Saale auf 10 m Entfernung die Fallhöhe mit  $\frac{1}{10}$  Belastung ermittelt = 0,32 mm.)

Das Ergebnifs obiger Versuche ist dahin zusammenzufassen, dafs im Hochwalde für die doppelte Entfernung die  $2\frac{1}{2}$  fache Fallhöhe (Schallkraft) genügt, um die Reizschwelle hervorzu- bringen, und dafs gegen die Messung im Walde die Messung im geschlossenen Raum eine um 40 v. H. geringere Fallhöhe als ausreichend erwies. Dieses Ergebnifs war überraschend, erklärt sich aber aus dem im Saale herrschenden Gleichgewichte der Luft und aus dessen Resonanz, während im Walde auch bei anscheinender Ruhe infolge der Temperaturunterschiede ein stetes Ausgleichen und Bewegen der Luftschichten stattzufinden pflegt.

Im Innern. Der Lärm einer Großstadt beeinträchtigt Schallmessungen außerordentlich. In der Berliner Garnisonkirche wurden sie durch das Strafsengetöse unmöglich. Auch im Philharmoniesaal und im Saale auf Tivoli in Berlin mußte trotz ihrer Ablegenheit auf 20 m Entfernung mit erheblich größerer Fallhöhen begonnen werden, als im Freien. Hierauf kommt es indessen auch weniger an, als auf das Verhältnifs dieser

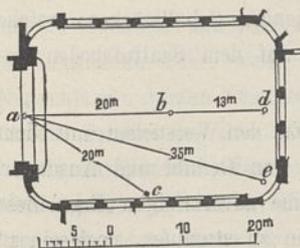


Abb. 3.

es indessen auch weniger an, als auf das Verhältnifs dieser

Fallhöhe zu denen der größeren Entfernungen in demselben Raume.

Die Versuche in der Philharmonie (Abb. 3) fanden im October 1894 statt. Das Instrument stand auf dem Podium bei *a*; die Belastung war  $\frac{1}{10}$ .

- V. Punkt *b* auf 20 m Entfernung bei 4,5 mm Fallhöhe,
- " *c* " 20 " " " 3,4 " "
- " *d* " 33 " " " 8,0 " "
- " *e* " 35 " " " 7,2 " "

Zur Fallhöhe 4,5 mm für den frei in der Mittelachse liegenden Punkt *b* tritt hinzu der Reflex des parkettirten Fußbodens mit 90 v. H. = 4,05. Die Gesamtschallwirkung in *b* war also = 8,55 oder rund 8,6. Bei derselben Entfernung von 20 m mußte in *c* die Gesamtwirkung zur Erregung der Reizschwelle dieselbe sein wie in *b*. Die Fallhöhe für *c* betrug indessen nur 3,4 mm und mit 90 v. H. Fußbodenreflex = 3,4 + 3,06 = 6,5. Der Unterschied von 8,6 — 6,5 = 2,1 rührt von der reliefbedeckten Pfeilerwand her, an der Punkt *c*

liegt. Diese Wand reflectirt also mit  $\frac{2,1}{3,4} = 62$  v. H. In der

„Akustik des Baumeisters“ ist diese Wirkung mit 64 v. H. aufgeführt. Der kleine Unterschied erklärt sich aus den leeren Oeffnungen der Logen. — Die Fallhöhe für *d* war 8,0 mm; dazu 90 v. H. Fußbodenreflex und 62 v. H. Wandreflex giebt 8,0 (1 + 1,52) = 20,2. Geht man zur Vergleichung aus von den einfachsten Verhältnissen für *b* bei 20 m Entfernung und 8,6 Gesamtwirkung, so müfste bei 33 m Entfernung die Gesamtwirkung in *d* sein =  $8,6 \cdot \frac{33^2}{20^2} = 23,2$ . Der Unterschied

$23,2 - 20,2 = 3,0$  oder  $\frac{3,0}{8,0} = 38$  v. H. kann nur herrühren

aus den Reflexen höherer Ordnungen, die sich durch Combination von Fußboden- mit Wandrelief-Reflexen bilden. Noch mehr tritt dies hervor für *e* in der abgerundeten Ecke der Längswand mit der Rückwand. Zur Fallhöhe 7,2 mm tritt hinzu 90 v. H. Fußbodenreflex = 6,48; Wandreflex 0,62 = 4,47, sodafs die nachweisbare Gesamtwirkung in *e* beträgt 18,15. Diese Wirkung müfste, wieder von *b* ausgehend, auf 35 m Entfernung betragen

$8,6 \cdot \frac{35^2}{20^2} = 26,66$ . Der Unterschied von 26,66 — 18,15 = 8,51

oder  $\frac{8,51}{7,20} = 118$  v. H. ist zuzuschreiben den Reflexen höherer

Ordnung, die sich zwischen Fußboden und zwischen den Reliefs der beiden Eckwände bilden müssen.

Während der Philharmoniesaal bei 33 m Länge die erhebliche Breite von 23,5 m besitzt, hat der Tivolisaal 65 m Länge, 10 m Breite und (durchschnittlich) 6,5 m Höhe. Es ist nicht schwer einzusehen, dafs der Einfluß der Reflexion, besonders der der höheren Ordnungen, in einem so langgestreckten Raume noch viel stärker hervortreten muß. Der Saal ist mit Tischen und Stühlen bestellt, hat gewöhnliche Putzwände und eine ebenfalls geputzte Holzdecke. Das Instrument wurde hinreichend entfernt von der einen Endwand aufgestellt, um deren Reflexion zu vermeiden. Die im October 1895 mit  $\frac{1}{10}$  Belastung ausgeführten Versuche ergaben

- VI. bei 20 m Entfernung 4,1 mm Fallhöhe,
- " 30 " " 7,1 " "
- " 40 " " 9,8 " "
- " 50 " " 12,6 " "

Es wirkten hier folgende Reflexe mit: Reflex des Fußbodens = 90 v. H.; des Gestühls usw. = 50 v. H.; der beiden Längswände und der Decke. Die Wirkung dieser letzten 3 Reflexe vermindert sich bei 20 m Entfernung durch den Wegeunterschied (21,2 m) von 80 v. H. auf 72 v. H., bei 30 m Entfernung auf 75 v. H., bei 40 m auf 77 v. H. und bei 50 m auf 78 v. H. Die Gesamtwirkung des directen Schalls und der Reflexion ist also bei

$$\begin{aligned} 20 \text{ m Entfernung} &= 4,1 \cdot (1 + 0,9 + 0,5 + 3 \cdot 0,72) \\ &= 4,1 \cdot 4,6 = 18,86, \\ 30 \text{ „ „ „} &= 7,1 \cdot 4,7 = 33,37, \\ 40 \text{ „ „ „} &= 9,8 \cdot 4,7 = 46,06, \\ 50 \text{ „ „ „} &= 12,6 \cdot 4,8 = 60,48. \end{aligned}$$

Nach den Quadraten der Entfernung hätten die Gesamtwirkungen, wenn man die auf 20 m zu Grunde legt, ergeben müssen

$$\begin{aligned} \text{auf 30 m Entfernung} &18,9 \cdot \frac{30^2}{20^2} = 42,5 \text{ (gegen oben 33,37),} \\ \text{„ 40 „ „} &18,9 \cdot \frac{40^2}{20^2} = 75,6 \text{ (gegen oben 46,06),} \\ \text{„ 50 „ „} &18,9 \cdot \frac{50^2}{20^2} = 118,12 \text{ (gegen oben 60,48).} \end{aligned}$$

Man erkennt deutlich, daß die Berechnung aus der Fallhöhe und den zu ihr gehörenden einmaligen Reflexen nicht hinreicht, um die nach dem Quadrate der Entfernung erforderlichen Schallstärken herzuleiten, daß vielmehr mit den wachsenden Entfernungen die mehrmaligen Reflexionen oder die Reflexe höherer Ordnungen immer stärker ergänzend hinzutreten müssen. Die für 50 m erforderliche directe Schallstärke 12,6 wird durch die einmalige Reflexion auf fast das Fünffache 60,48 und durch Mitwirkung der mehrmaligen Reflexion auf fast das Zehnfache 118,12 gesteigert!

Fußbodenreflex. Es wurde ferner im Tivolisale für 20 m Entfernung der Fußbodenreflex dadurch beseitigt, daß ein zweiter Gehülfe im Mittelgange auf 10 m Entfernung die eine Hälfte einer 1,5 m breiten, 2 m langen dicken Plüschdecke 1 m hoch vom Fußboden ausgespannt hielt, während die andere Hälfte den Reflexionspunkt des Fußbodens bedeckte. Die für die Reizschwelle nöthige Fallhöhe mußte von 4,1 mm (siehe oben) auf 5,0 mm erhöht werden. Oben war Gesamtwirkung gewesen auf 20 m Entfernung

$$4,1 \cdot 4,6 = 18,86.$$

Hier haben wir nach Fortfall des Fußbodenreflexes = 0,9 die Gesamtwirkung:

$$\text{VII. } 5,0 \cdot (4,6 - 0,9) = 18,50.$$

Ein genaues Uebereinstimmen ist natürlich nicht möglich, da trotz der Decke der Fußboden immer noch etwas reflectirte. Indessen beweist der Versuch, daß der Werth des Fußbodenreflexes mit 90 v. H. von der Wirklichkeit nicht wesentlich abweicht.

Schallhindernisse. Endlich wurde vor dem 20 m entfernten Gehülfe die Plüschdecke vom Fußboden bis 2 m hoch ausgespannt, sodafs er weder von dem directen Schall noch von den Reflexen von vorn getroffen werden konnte. Nun wurde eine Fallhöhe von 8,5 mm erforderlich statt der früheren 4,1 mm. Die Gesamtwirkung ( $x$ ) dieser 8,5 mm Fallhöhe berechnet sich aus  $8,5 \cdot x = 18,86$ . Denn für 20 m Entfernung bleibt für dasselbe Gehör die für die Reizschwelle nöthige Schallkraft ebenfalls dieselbe.

Hieraus ergibt sich:

$$\text{VIII. } x = 2,24,$$

während die Gesamtwirkung oben bei freiem Zutritt aller Schallwellen 4,6 betragen hatte. Von diesem Werthe sinkt sie also durch das Hindernis auf 2,24, d. h. unter die Hälfte! Man sieht hieraus, wie störend für die Schallwellenverbreitung in Kirchen, Concertsälen usw. breite Pfeiler werden können.

Im December 1895 bot sich Gelegenheit in der großen leeren Maschinenhalle der Ausstellung in Moabit einige Versuche anzustellen. Auch wenn bei den vorbeibrausenden Stadtbahnzügen die Arbeit ausgesetzt wurde, blieb das dumpfe Tosen des Berliner Lebens ringsum doch so stark, daß mit  $\frac{5}{10}$  Belastung geprobt werden mußte. Das Instrument wurde in einer Querachse von der einen Längswand 5,6 m, von der gegenüberliegenden 19 m entfernt aufgestellt. Der Widerhall von dieser zweiten Längswand erstarb bei einer Fallhöhe von 10,2 mm; auf dieselbe Entfernung von 19 m gegenüber einer der großen aus Façoneisen, Eisenblech und Glas gebildeten Thorthüren erlosch der Widerhall bei einer Fallhöhe von 9,1 mm. Frei in der Längsachse der Halle ergab sich

auf 20 m Entfernung die Fallhöhe 2,6 mm,

„ 40 „ „ „ „ 8,0 „

„ 60 „ „ „ „ 16,7 „

Gegen 8,0 mm Fallhöhe auf 40 m hätte die Fallhöhe auf  $2 \cdot 19 = 38$  m betragen müssen

$$8,0 \cdot \frac{38^2}{40^2} = 7,2 \text{ mm.}$$

Der Widerhall dieser zweiten Längswand erstarb indessen (siehe oben) bei 10,2 mm Fallhöhe. Diese Wand (Ziegelfachwerk mit einem dünnen lose hängenden Stoff bespannt) reflectirte also

$$\begin{aligned} \text{IX. mit } \frac{7,2}{10,2} &= 70 \text{ v. H. und die Thorthüre} \\ \text{„ } \frac{7,2}{9,1} &= 80 \text{ v. H. Nutzeffect.} \end{aligned}$$

In der „Akustik des Baumeisters“ ist der Nutzeffect der gefugten Wand mit 75 v. H. aufgeführt, also (mit Rücksicht auf die Stoffbekleidung) dem Ergebnisse in der Maschinenhalle entsprechend.

Vortheil höherer Lage. Zu den Versuchen in der Philharmonie ist noch nachzutragen, daß auch die Fallhöhen ermittelt wurden für 2 Punkte  $d'$  und  $e'$ , die in den Ranglogen über den Punkten  $d$  und  $e$  (Abb. 3) des Saalfußbodens lagen.

X. Für  $d'$  auf 34 m Entfernung war die Fallhöhe 5,1 mm gegen 8,0 mm für  $d$ .

Für  $e'$  auf 36 m Entfernung war die Fallhöhe 4,7 mm gegen 7,2 mm für  $e$ .

Demnach waren für diese beiden höher liegenden Punkte des Ranges nur erforderlich  $\frac{2}{3}$  derjenigen Schallstärken, welche die unter ihnen liegenden Punkte auf dem Saalfußboden bedurften.

Methode der Versuche. Zu den Versuchen mit dem Fallstäbchen gehören zwei Personen von Geduld und Ausdauer. Nervöse, unruhige Leute werden keine zuverlässigen Ergebnisse erzielen. Der Gehülfe darf weder ein zu stumpfes, noch ein zu scharfes Gehör haben. Wünschenswerth ist das Durchschnittsgehör, wie man es bei einem größeren Publicum voraussetzen darf. Die ersten 20—30 Minuten sind darauf zu verwenden, das Ohr an diese kleinsten Schallwellen zu gewöhnen. Erst

von da ab erhalten die Messungen Werth; sie viel über die Dauer von zwei Stunden auszudehnen, ist der eintretenden Abspannung wegen nicht rathsam. Allmählich mindert man die Fallhöhe, bis abwechselnd der Schall gehört und dann wieder nicht gehört wird. Die Wirkung der Interferenzen ist für den am Instrument Stehenden geradezu frappant! Bei derselben Fallhöhe erscheint der Fallschlag abwechselnd matt und stumpf, dann gleich darauf scharf, klar und stark. In der nächsten Nähe der Schallquelle, die ihre Wellen radial nach allen Richtungen entsendet, sind die Combinationen des directen Schalls mit den Reflexen am Stativ, am eigenen Körper und am Erdboden viel wechselreicher, als bei der grösseren Entfernung des Gehülfen. In der Richtung nach diesem hin und um diese Linie herum ist die Divergenz der Schallwellen geringer, die Reflexpunkte bleiben dieselben, die Zusammensetzung des directen Schalls mit den Reflexen kann nicht mehr so stark wechseln. Dennoch genügt auch dort ein kleiner Wechsel der Stellung, um bei derselben Fallhöhe einmal zu hören und dann wieder nicht zu hören. (Es erschien nothwendig, diese Erfahrungen mitzuthellen für diejenigen, welche mit helfen wollen, die Versuche zu prüfen, zu erweitern und deren Ergebnisse festzustellen. Der Fallstäbchenapparat mit sämlichem Zubehör ist in sehr sorgfältiger Ausführung bei Lietzmann, Berlin, Commandantenstrasse 36, für den bescheidenen Preis von 25 Mark zu haben.)

Aus den Ausführungen auf Seite 337 geht hervor, das die Reflexion im geschlossenen Raum noch günstiger wirkt, als in einem Hochwalde, in welchem die Tragweite menschlicher Rede auf 50—60 m Entfernung wächst gegen 30 m auf freiem Felde. Man wird hieraus, da die Schallwellen des Instruments in ihrem Effect den zum Verständnifs nothwendigen Schallwellen der Consonanten ähnlich sind, folgern dürfen, das in einem richtig angelegten Innenraume, wenn derselbe frei ist von störenden Reflexen, die Rede ebenfalls auf 50—60 m weit verstanden werden kann. Aber nicht nur auf die Sicherung gegen störende Reflexe durch Behandlung der betreffenden Flächen mit Relief kommt es an, sondern, wie aus den Ergebnissen der Messungen in der Philharmonie und auf Tivoli deutlich folgt, auch vornehmlich auf die Grundriformgestaltung des Gebäudes.

Langschiff oder Centralbau? Der Organismus der menschlichen Stimme ist dem der Zungenpfeifen der Orgel sehr nahe verwandt. So hat denn die Stimme auch die Eigenschaft, den Schall aus der Mitte des Mundes heraus (wie alle Blasinstrumente aus der Mitte der Schallöffnung) nach vorn in gerader Richtung am meisten stark erklingen zu lassen. Die Schallstärke nimmt rechtwinklig nach den Seiten zu bereits wesentlich, am meisten aber nach rückwärts ab. Nach dieser Erfahrung lag der Gedanke nahe, das ein Langschiff vom Redner in der Längsachse oder, wenn die Kanzel seitwärts steht, in der Diagonale am besten beherrscht wird und die günstigste Form für die Predigt ergibt. Der schaffenden Phantasie der Baumeister hat indessen diese einfachste Grundriformgestaltung niemals recht genügt. Von den Römern übernommen, haben sich die Centralbauten durch die altchristliche Zeit und auch das Mittelalter theils als reine Rundbauten, meist aber als Verbindungen mit Langschiffen bis auf den heutigen Tag fortgepflanzt. Wenn nun auch diese Formen das künstlerische Streben der Architekten befriedigten, die damit der Vierung, der Stätte

des Allerheiligsten nicht nur im Grundrifs, sondern auch durch Tambour und Kuppel in der äusseren Erscheinung das Uebergewicht über den ganzen übrigen Kirchenkörper hatten geben wollen, so hat es doch, seit in den letzten drei Jahrhunderten die Predigt im protestantischen Gottesdienst das wesentlichste geworden war, nicht an dem Vorwurfe gegen den Centralbau gefehlt, das die Verständlichkeit des Wortes Gottes in ihm schwierig, das er hierin dem Langbau gegenüber minderwerthig sei. In neuerer Zeit haben sich bei Gelegenheit der Preisbewerbung für die Nikolaikirche in Hamburg 1844 Zwirner und Boisserée entschieden in diesem Sinne geäußert. Es ist sehr schwierig über eine solche Frage zu urtheilen auf Grund rein äusserer Eindrücke. Diese Eindrücke sind allzusehr abhängig von einer grossen Summe von Zufälligkeiten. Deshalb schien mir eine Untersuchung zeitgemäfs, wie weit sich jene Bedenken gegen Centralbauten aus den bisher gemachten akustischen Erfahrungen als begründet nachweisen lassen.

Von den Grundriformen, die sich in einen Kreis einschreiben lassen, ist das Quadrat die einfachste. Nur selten wird es mit glatten, geschlossenen Wänden Verwendung finden. Um jedoch die Gemeinsamkeit in den Erscheinungen der Reflexionswirkungen ins richtige Licht zu setzen, mag mit dieser Form begonnen werden. Nur bei ebenen Flächen lassen sich diese Wirkungen in übersichtlicher Weise verfolgen und daraus dann die Schlüsse ziehen, wo die ebenen Flächen in reliefirte aufzulösen erforderlich ist.

Steht in dem quadratischen Raume (Abb. 4)  $ABCD$  von 25 m Seite der Redner in  $k$ , so werden die Schallwellen von

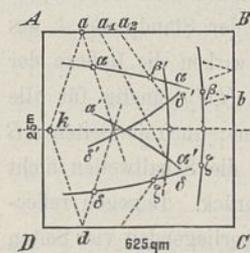


Abb. 4.

der Wand  $AB$  in günstiger Weise bis zur Linie  $\alpha\alpha'$ , in der sie einen Wegeunterschied von 8 m gegen den directen Schall erreichen, reflectirt. Bis zu diesen 8 m schliessen sich die Reflexe eng an den directen Schall an und unterstützen denselben. Je mehr aber der Wegeunterschied das Mafs von 8 m überschreitet, desto mehr beeinträchtigen sie die Dauer der Pause und damit die Deutlichkeit der Rede. Denn zur Deutlichkeit gehört auch der grössere Theil der Pausendauer ( $\frac{1}{20}$  Secunde = 17 m Wegeunterschied). Ueberschreitet aber gar der Wegeunterschied diese 17 m, so fallen solche reflectirten Schallwellen mit den directen Schallwellen der folgenden Silbe sehr hinderlich im Ohre des Zuhörers zusammen. Und dies thun die Reflexe der Wand  $AB$  von der Linie  $\alpha'\alpha'$  ab für einen erheblichen Theil des Raums. Ganz dasselbe geschieht gleichzeitig von der Wand  $DC$  aus. Die von  $DC$  aus zurückgeworfenen Schallwellen trüben von der Linie  $\delta\delta'$  die zweite Hälfte der Pause und fallen von  $\delta'\delta'$  ab störend in die nächste Silbe. Am ungünstigsten aber wirkt die dem Redner gegenüberliegende Wand  $BC$ . Ihre Reflexe überschreiten mit der Linie  $\beta\zeta'$  den Wegeunterschied von 8 m und von  $\beta'\zeta'$  kommen sie störend in die folgende Silbe. Fassen wir den Einfluss der drei Wände  $AB$ ,  $BC$  und  $CD$  zusammen, so finden wir den mittleren Theil des Quadrats, umschlossen von den Linien  $\alpha\beta$ ,  $\beta\zeta$ ,  $\zeta\delta$ , lang nachschleppenden Reflexen unterworfen, die an sich zwar mit der grösseren Wegelänge an Kraft verlieren, dennoch aber die Deutlichkeit des Hörers beeinträchtigen, weil sie von drei Seiten aus übereinander fortlaufend sich gleichsam verdreifachen. Die hinter  $k$  liegende Rückwand  $AB$  reflectirt

den directen Schall mit kleinstem Umwege, also sehr günstig, nach allen Punkten des Saales.

Nach alledem kann man einen quadratischen Raum, bei dem der untere Theil der Wände vorwiegend glatt gehalten ist, nicht für einen akustisch vortheilhaften ansehen, zumal die Zuhörer sich vorzugsweise und naturgemäfs in der Mitte, gegenüber dem Redner, aufzusammeln pflegen, wo die Reflexe der Wände am meisten stören. Auch bei Räumen, deren Abmessungen

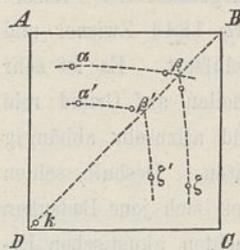


Abb. 5.

sich dem Quadrate nur nähern, zeigen sich schon diese ungünstigen Einflüsse. So bei dem grossen Saale im Berliner Architektenhause mit 18,22 m Länge bei 15,1 m Breite. Etwas vortheilhafter gestalten sich die Verhältnisse für das Quadrat, wenn der Redner (Abb. 5) in einer Ecke steht und in der Diagonale spricht. Ungünstige Schallwellen werden, statt oben von drei, hier nur von zwei Seiten AB und BC verursacht, die in der Linie  $\alpha\beta\zeta$  einen Wegeunterschied von 8 m, in der Linie  $\alpha'\beta'\zeta'$  von 17 m überschreiten, dort die Pause und hier das Verständniß der folgenden Silbe beeinträchtigen. Also auch hier unterliegt der ganze mittlere, von der Linie  $\alpha\beta\zeta$  eingeschlossene Raum ungünstigen akustischen Einflüssen. Immerhin ist diese Anordnung, zumal die beiden, die Ecke des Redners einschliessenden Wände DA und DC für jeden Punkt des Raumes günstige Reflexe geben, der Anordnung in Abb. 4 vorzuziehen.

Schneidet man vom Quadrat die Ecken ab und macht man ein regelmäfsiges Achteck daraus ABCDEFGH (Abb. 6) in dessen Ecke H der Standpunkt k des Redners ist, so wirken die Reflexe der Seiten HA und HG günstig für alle Punkte des Raums; auch die Seiten AB und GF werfen die Schallwellen nicht unvortheilhaft zurück. Dagegen reflectiren die gegenüberliegenden vier Seiten BC, CD, DE und EF mit 8 m Wegeunterschied nach  $\beta\zeta\delta\epsilon\varphi$ , trüben von dieser Linie ab die Pausen zwischen den Silben und kommen jenseits der Linien  $\beta'\zeta'$ ,  $\varphi'\epsilon'$ ,  $\zeta''\delta''$  und  $\delta'\epsilon''$  mit 17 m Wegeunterschied bereits hindernd in die folgenden Silben. Die Zuhörer in der ganzen Fläche um den Mittelpunkt herum und bis zur Linie  $\beta\zeta\delta\epsilon\varphi$  werden im Verstehen der Rede sehr beeinträchtigt.

Das regelmäfsige Sechseck zeigt ganz ähnliche Erscheinungen. Es steht aber akustisch gegen das Achteck zurück, weil dieses vier günstig und vier störend wirkende Seiten, das Sechseck dagegen nur zwei günstig und vier störende (weil gegenüberliegende) Seiten besitzt. (Vgl. unten.)

Beim Kreise (Abb. 7) reflectirt das Bogenstück der Wand hinter k mit gutem Erfolg nach allen Punkten des Raums. Das gegenüberliegende Bogenstück ABC aber wirft die Schallwellen mit 8 m Wegeunterschied nach der Curve  $\alpha\beta\delta$  und jenseits dieser Linie hindernd in die zweite Hälfte der Pausen. Alsdann schneiden sich die Reflexe um den Punkt E herum, überschreiten dabei

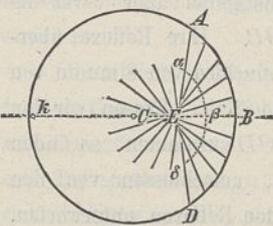


Abb. 7.

den Wegeunterschied von 17 m und fallen von dort ab störend in die folgenden Silben. Hierdurch wird den Plätzen um den Mittelpunkt C herum und bis zur Linie  $\alpha\beta\delta$  das Folgen und Verstehen der Rede in k aufserordentlich erschwert. Diese lästige Häufung der Schallwellen in Räumen mit kreisrundem (und auch elliptischem) Grundrifs ist schon länger bekannt. Zuerst hat sie Langhans in seiner Katakustik 1810 nachgewiesen. Da der Kreis als regelmäfsiges Vieleck mit größter Seitenzahl aufgefasst werden kann, können sich seine akustischen Eigenschaften ja auch nicht sehr von denen des regelmäfsigen Achtecks unterscheiden.

Ungünstige Reflexion unter rechtem Winkel. Es ist leicht zu erkennen, dafs Schallwellen, die eine Wand senkrecht oder unter einem dem rechten Winkel sich nähernden Winkel treffen, gewöhnlich Reflexe mit grossem Wegeunterschied gegen den directen Schall ergeben. So hat in Abb. 4 der Reflex  $a\alpha'$  in  $\alpha'$  bereits 17 m Wegeunterschied, ebenso der Reflex  $d\delta'$  in  $\delta'$ . Die weiteren Punkte der Wand AB:  $a_1a_2$  u. s. w. werden unter einem mehr und mehr spitzen Einfallwinkel getroffen; die Reflexe von ihnen werden immer weniger störend. Die der Schallquelle gegenüberliegende Wand BC dagegen bildet in ihrer ganzen Ausdehnung Reflexe, welche von der Linie  $\beta\zeta$  ab die Pausen, von  $\beta'\zeta'$  ab den directen Schall der folgenden Silben stören, und dadurch die Deutlichkeit empfindlich beeinträchtigen. Immer sind es die dem Redner gegenüberliegenden Wände, welche lästige Reflexe in dieser Weise ergeben. So in Abb. 5 die Seiten AB und BC; in Abb. 6 die Seiten BC, CD, DE und EF; im Kreise Abb. 7 ebenfalls das gegenüberliegende Bogenstück ABD.

Der Gedanke liegt nahe, dafs man diesem Uebelstande abhilft, wenn man beispielsweise im Quadrate die gegenüberliegende Seite möglichst weit hinausrückt und damit in dem entstandenen Rechteck die Wirkung der Reflexe dieser Seite durch die gröfsere Entfernung abschwächt. ABCD, Abb. 8, stelle ein Rechteck vor von 45 m Länge und 20 m Breite. Auch hier erreicht der Reflex von  $a_2$  der Seite AB in  $a_1$  einen Wegeunterschied von 8 m. Aber einen Wegeunterschied von 17 m erhält dieser Reflex im Raume selbst nirgends. Der Punkt  $a_5$ , in dem dies geschehen würde, liegt aufserhalb desselben. Der Reflex von  $b_2$  hat in  $b_1$  den Wegeunterschied von 8 m. Bei  $a_1$  der Längsachse fällt der Reflex  $a_2a$  mit 13,5 m Wegeunterschied allerdings noch in die Pausen, bei b ist dies bezüglich des Reflexes  $b_2b$  mit 8,5 m Wegeunterschied kaum mehr der Fall. Dasselbe gilt für die Reflexe  $a_4a$ ,  $b_4b$  der Seite DC. Nur in dem verhältnißmäfsig kleinen von  $a_1b_1b_3a_3$  umgrenzten Raume werden die Pausen etwas getrübt. Ein störendes Hineinfallen der Reflexe in den directen Schall der folgenden Silben findet aber nirgends statt, und dies ist ein grofses Vorzug vor den Centralformen. Noch mehr zeigt sich die Ueberlegenheit des rechteckigen Grundrisses in den immer günstiger werdenden Reflexen der Längsseiten  $c_2c$  mit 6,5 m,  $d_2d$  mit 5 m,  $e_2e$  mit 4 m usw. bis  $h_2h$  mit 1 m Wegeunterschied. Zwei Drittel des Raumes erhalten von den Längsseiten Reflexe, die sich vom directen Schall nur wenig trennen, denselben also

hat in  $b_1$  den Wegeunterschied von 8 m. Bei  $a_1$  der Längsachse fällt der Reflex  $a_2a$  mit 13,5 m Wegeunterschied allerdings noch in die Pausen, bei b ist dies bezüglich des Reflexes  $b_2b$  mit 8,5 m Wegeunterschied kaum mehr der Fall. Dasselbe gilt für die Reflexe  $a_4a$ ,  $b_4b$  der Seite DC. Nur in dem verhältnißmäfsig kleinen von  $a_1b_1b_3a_3$  umgrenzten Raume werden die Pausen etwas getrübt. Ein störendes Hineinfallen der Reflexe in den directen Schall der folgenden Silben findet aber nirgends statt, und dies ist ein grofses Vorzug vor den Centralformen. Noch mehr zeigt sich die Ueberlegenheit des rechteckigen Grundrisses in den immer günstiger werdenden Reflexen der Längsseiten  $c_2c$  mit 6,5 m,  $d_2d$  mit 5 m,  $e_2e$  mit 4 m usw. bis  $h_2h$  mit 1 m Wegeunterschied. Zwei Drittel des Raumes erhalten von den Längsseiten Reflexe, die sich vom directen Schall nur wenig trennen, denselben also

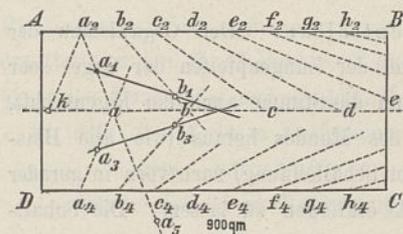


Abb. 8.

den Wegeunterschied von 17 m und fallen von dort ab störend in die folgenden Silben. Hierdurch wird den Plätzen um den Mittelpunkt C herum und bis zur Linie  $\alpha\beta\delta$  das Folgen und Verstehen der Rede in k aufserordentlich erschwert. Diese lästige Häufung der Schallwellen in Räumen mit kreisrundem (und auch elliptischem) Grundrifs ist schon länger bekannt. Zuerst hat sie Langhans in seiner Katakustik 1810 nachgewiesen. Da der Kreis als regelmäfsiges Vieleck mit größter Seitenzahl aufgefasst werden kann, können sich seine akustischen Eigenschaften ja auch nicht sehr von denen des regelmäfsigen Achtecks unterscheiden.

sehr wirksam unterstützen. Diese kräftigen und günstigen Reflexe fehlen den Central-Grundrissen gänzlich! Die der Schallquelle gegenüberliegende Schlufsseite  $BC$  des Rechtecks erzeugt natürlich ähnliche dem directen Schall entgegenlaufende und deshalb störende Reflexe, wie beim Quadrat Abb. 4. Aber bei dem 45 m langen Rechteck haben diese Reflexe etwa nur noch  $\frac{1}{3}$  der Kraft, die sie beim Quadrat von 25 m Seite besitzen; und so vermindert sich die Belästigung durch sie auf ein erträgliches Mafs.

Nach alledem steht das Rechteck als Grundriffsform bezüglich der Schallentwicklung erheblich über allen Centralformen. Dabei enthält Abb. 8 900 qm Fläche, während das Quadrat bei 25 m Seite 625, das davon abgeleitete Achteck 517 und der umschriebene Kreis etwa 533 qm aufweisen. Trotz alledem werden diese Formen für den Hauptraum, in dem Langschiff und Querschiff sich schneiden, nicht zu entbehren sein. Man wird sie auch alle verwenden können, wenn man ihre Abmessungen nicht übertreibt und diejenigen Flächen, von denen lästige Reflexe zu befürchten sind, mit kräftigem Relief aus-

stattet. Man darf indessen hierbei nicht etwa glauben, dafs damit die störenden Einflüsse völlig beseitigt seien. Sie sind dadurch nur wesentlich gemildert. (Ob der Kuppelraum des neuen Doms in Berlin bei 31 m Durchmesser den Anforderungen der Zuhörer überall genügen wird, ist eine Frage, deren Lösung Gemeinde und Fachwelt mit größter Spannung entgegensehen. Wenn alle Mittel, die die bisherigen Erfahrungen an die Hand geben, sorgsame Verwendung finden, scheint trotz der großen Schwierigkeiten eine genügende Hörsamkeit des gewaltigen Raums bei einem Prediger mit sehr deutlicher Aussprache und klangvollem Organ nicht unerreichbar. Ein bequemer Posten wird, was die rednerische Anstrengung anlangt, diese Kanzel jedenfalls nicht sein!) Auch für das Rechteck Abb. 8 wird man sich die gute Wirkung des Reliefs nicht entgehen lassen dürfen. Sobald die Wandtheile  $Ae_2$  und  $De_4$ , desgleichen die Schlufswand  $BC$  mit schallzerstreuender Oberfläche ausgestattet werden, fallen auch die letzten Belästigungen für den Raum  $ABCD$  fort, ohne dafs seine günstigen Eigenschaften sich verringern.

## Die Kirche und der Kreuzgang des ehemaligen Cistercienserklosters in Pforta.

(Mit Abbildungen auf Blatt 38 bis 42 und 55 bis 56 im Atlas.)

(Alle Rechte vorbehalten.)

Die mittelalterlichen Architekturschätze von Schulpforta haben schon früher zu Mittheilungen in dieser Zeitschrift Veranlassung gegeben. Im Jahre 1893 wurde über den Capitelssaal und die Abtscapelle, später auch über die alten Glasmalereien der Klosterkirche berichtet.<sup>1)</sup> Das Hauptdenkmal aber, die Kirche selbst, ist bisher zum Gegenstande einer eingehenderen architektonischen Veröffentlichung noch nicht gemacht worden. Was Puttrich<sup>2)</sup> bringt, hat fast nur malerischen Werth. W. Corssens vortreffliches Werk über Pforta<sup>3)</sup> behandelt zwar umfassend die ganze Klosteranlage. Doch es ist, da sein Inhalt mehr cultur- und allgemeinesgeschichtlicher als bauwissenschaftlicher Art ist, in weiteren Fachkreisen wenig bekannt. Auch ist das Architektonische nicht erschöpfend und in einem verhältnismäßig kleinen Mafsstabe dargestellt; es erschien deshalb angezeigt, die genauen Aufnahmen, die der Unterzeichnete während eines mehrjährigen dienstlichen Aufenthaltes in Pforta gefertigt hat, der Oeffentlichkeit zu übergeben und über die vorgenommene Untersuchung des Bauwerkes hier ausführlicher zu berichten.

Das „Oratorium“, wie die ältere Kirche in den Urkunden bis in das 15. Jahrhundert hinein genannt wird, entstammt mit dem Kreuzgange der Mitte des zwölften Jahrhunderts. Es hat viele Wandlungen erfahren, während der Kreuzgang, wenn auch verstümmelt, im wesentlichen in seiner ursprünglichen Gestalt vor uns steht. Corssen führt an, dafs der Grundstein des „Klosters an der Porta“ nach einer Walkenrieder Mönchshandschrift am 30. October 1137 gelegt ist, und dafs die Bestätigungsurkunde des Diöcesanbischofs von Pforta, Uto I. von Naumburg, eines Blutsverwandten des Stifters, Grafen Bruno

im Pleissengau, im Jahre 1140 erschien, nachdem Papst Innocenz II. seine Zustimmung zu einem Tauschvertrage gegeben hatte, auf Grund dessen gewisse Theile der Besitzungen des Stiftes Naumburg an die Porta fielen. Es waren Mönche des Klosters Walkenried, welche den Plan für die Einsiedelei Pforta entwarfen. Walkenried stammt seinerseits von dem in der Diöcese Köln gelegenen Kloster Altfeld oder Altencampen, dieses von Morimond,<sup>4)</sup> einem Tochterkloster von Citeaux, ab. Da zwischen der Gründung von Citeaux und der von Pforta die verhältnismäßig kurze Spanne Zeit von 39 Jahren liegt, so ist es natürlich, dafs Pforta auch in seiner äußeren Erscheinung mit jenem manches gemein hat. Was ihre Plangestaltung betrifft, so sind Pforta die Klöster in Maulbronn und Bebenhausen besonders verwandt, deren Baudenkmäler durch den Württembergischen Alterthums-Verein eine mit großen Mitteln ausgestattete, höchst dankenswerthe Bearbeitung gefunden haben. Da für die Beurtheilung der Cistercienser-Bauten die Kenntniß der wichtigsten Regeln dieses Ordens unerlässlich ist, so sei gestattet, hier zunächst kurz auf diese einzugehen.

Die Verwilderung des Mönchthums hatte schon zu Ende des 11. Jahrhunderts einen bedenklichen Grad erreicht. Dies veranlafste den frommen Abt Robert von Molesme, in dem weltabgeschiedenen Thale von Citeaux im Jahre 1098 ein neues Kloster zu gründen und in ihm die Regel des heiligen Benedictus, die durch die von dem Generalcapitel im Jahre 1119 festgestellte sogenannte Charta charitatis Grundgesetz des Cistercienserordens wurde, in ihrer vollen Strenge einzuführen. Hinsichtlich der Lage der Klöster schrieb diese Regel vor, dafs sie an Orten errichtet werden sollten, welche einsam gelegen wären und vom menschlichen Verkehr wenig oder garnicht berührt würden. Das Kloster sollte im vollsten Sinne des Wortes

1) Zeitschrift f. Bauwesen 1893 S. 231 u. 585 (Bl. 26 bis 28 u. 59).

2) Puttrich, Denkmale der Baukunst des Mittelalters in Sachsen.

3) Alterthümer und Kunstdenkmale des Cistercienserklosters St. Marien und der Landesschule zur Pforte von W. Corssen, mit Zeichnungen von J. Bormann und J. F. Hofsfeld. Halle 1868. Waisenhausbuchhandlung.

4) Die Angabe Corssens, Altfeld stamme unmittelbar von Citeaux ab, trifft nicht zu. Vergl. Janaschek, Origines ordinis Cisterc., und Winter, Die Cistercienser des nordöstl. Deutschlands.

eine Einsiedelei sein, eine Stätte, wo die frommen Brüder, ledig aller Beziehungen zur Außenwelt, einzig und allein ihrem gottgeweihten Leben nachgehen sollten. Deshalb war auch dem Volke der Zutritt zu den Kirchen nicht gestattet, und es be-

diese in der Kirche in Pforta bestanden haben, ist nicht mehr nachweisbar; vermuthlich lehnten sie sich an den ersten Jochpfeiler des Langhauses — vom Querschiff aus nach Westen gerechnet — an, weil, wie wir später sehen werden, in Ab-

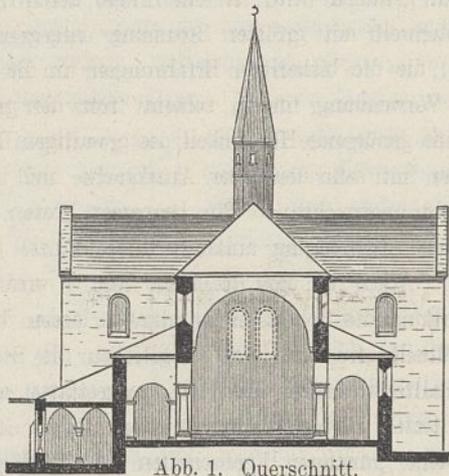


Abb. 1. Querschnitt.

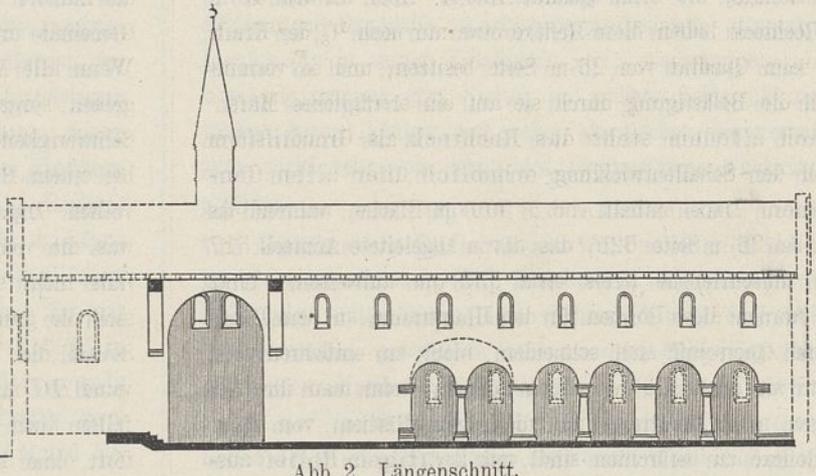


Abb. 2. Längenschnitt.

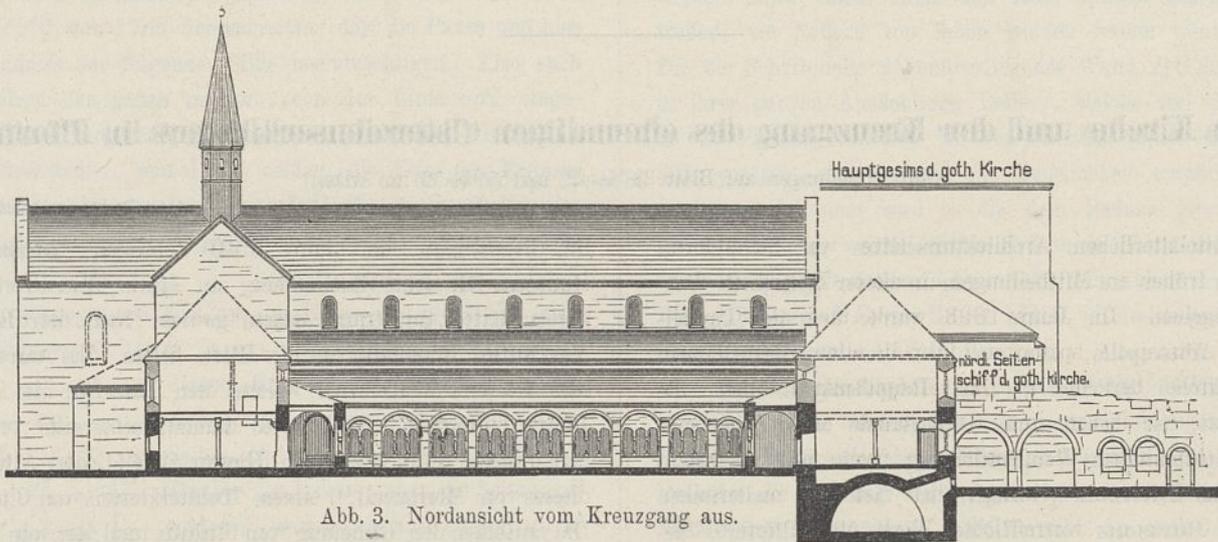


Abb. 3. Nordansicht vom Kreuzgang aus.

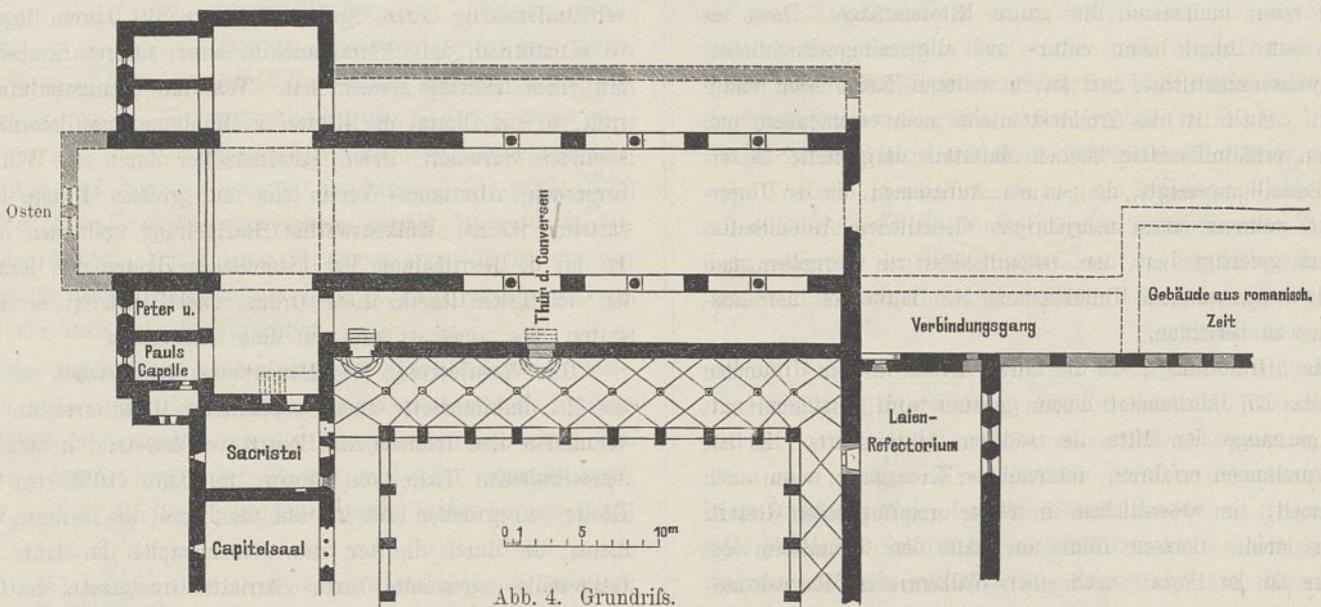


Abb. 4. Grundriss.

Zustand der Kirche in romanischer Zeit.

durfte zur Vornahme geistlicher Handlungen an Laien selbst in Fällen dringender Noth hoher Erlaubnifs. Da selbst die Converseen oder dienenden Brüder, die ebenfalls zum Cölibat verpflichtet waren, bei den Andachten in der Kirche von den Brüdern getrennt sein mußten, so begegnen wir in den Kirchen der Cistercienser lettnerartigen Holz- oder Steinschranken. Wo

weichung von allen hergebrachten Bauhüttenregeln, das Mittelschiff in seinem dem Kreuzschiff zunächst liegenden Theile geschlossene Wände zeigte. Diese Trennung der Brüder und Converseen und die weitere Vorschrift, daß regelmäfsig zu sieben verschiedenen Stunden des Tages und der Nachtzeit in dem Oratorium Gottesdienst zu halten war, erklärt die Anord-

nung einer größeren Zahl von Eingängen auf der Kreuzgangseite. In Bebenhausen, welches 1190 gegründet ist, finden wir in dieser Beziehung die vollkommenste Anlage mit vier Thüren. Zwei davon vermittelten den Verkehr vom Kreuzgang zur Kirche, die beiden anderen einen wettergeschützten Zugang von den Dormitorien aus. In Pforta ist man nicht so fürsorglich gewesen; die Laienbrüder haben auch bei Wind und Wetter zu jeder Jahreszeit den offenen Kreuzgang durchwandern müssen, da für sie nur eine Thür in der Mitte der südlichen Kreuzgangseite angelegt war (vgl. Text-Abb. 4). Die Brüder be-

der Kleinheit der Fenster nur mäßig erhellt vorzustellen haben. Zu dieser Schlichtheit gesellte sich, wie wir aus Text-Abb. 1 bis 3 erkennen, offenbar zum Nachtheil einer günstigen Raumwirkung, große Sparsamkeit in der Höhenentwicklung. Jenes Erlöserkreuz hat nach einem von Franz Kugler erstatteten Bericht 1838 noch in der Kirche gehangen, ist aber schon vor der 1855 und 56 auf Veranlassung König Friedrich Wilhelms IV. vorgenommenen Wiederherstellung der Kirche entfernt worden. Zur Zeit ist es im Capitelsaale aufgehoben; nach der leider immer noch ausstehenden vollständigen

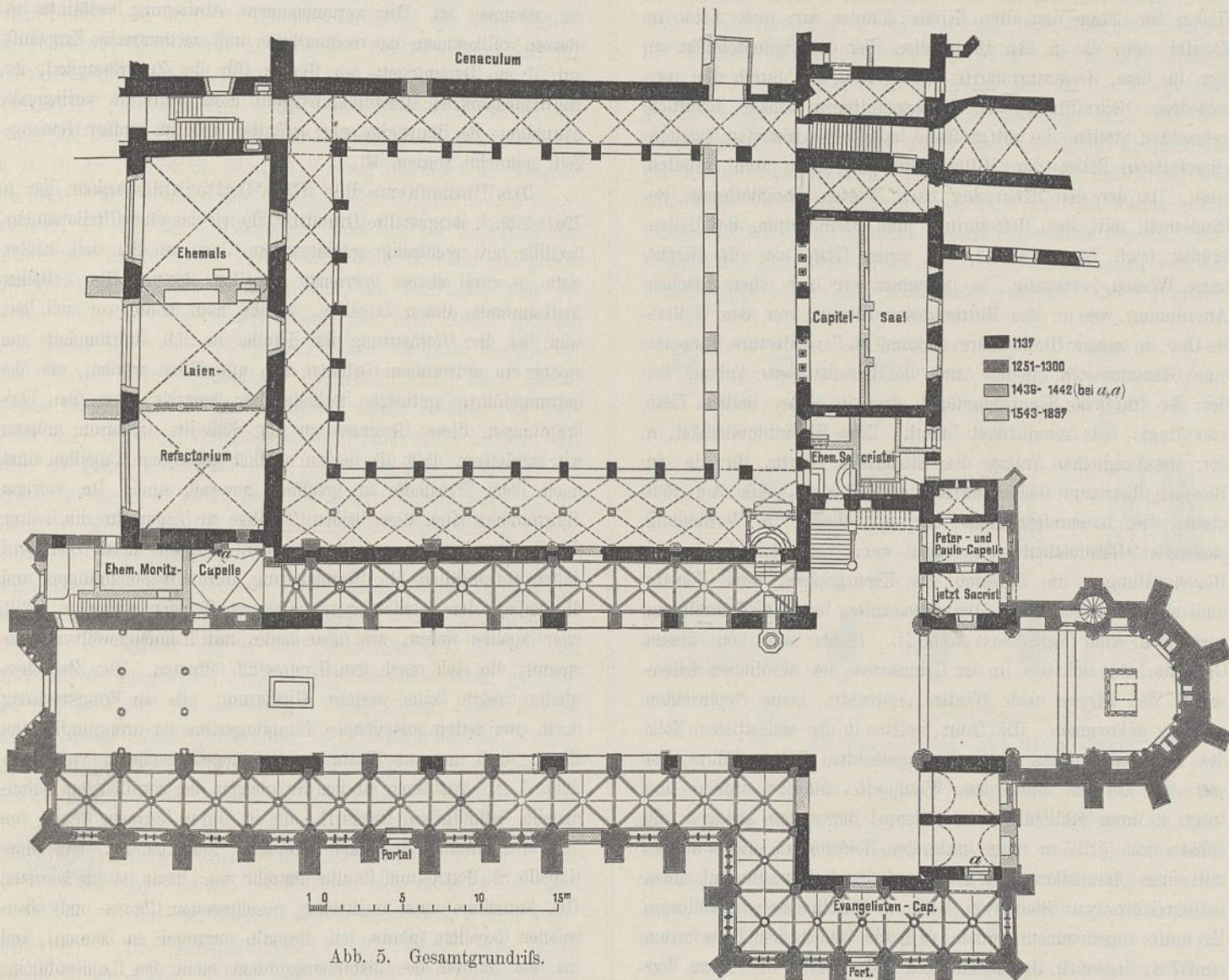


Abb. 5. Gesamtgrundrifs.

nutzten zur Tageszeit den noch heute in der südöstlichen Kreuzgangecke bestehenden Eingang und zur Nachtzeit eine aus geschlossenen Räumen in das nördliche Kreuzschiff führende Thür (vgl. den Längenschnitt auf Blatt 41). Zweifellos haben noch weitere Eingänge an dem Westgiebel des älteren Gotteshauses bestanden, möglicherweise auch an der Südseite, wo der Friedhof (coemeterium) lag. Die Ordensregel verlangte ferner ein einfaches, schmuckloses Bethaus ohne gemalte Fenster, hölzerne oder steinerne Glockenthüme u. dergl. Erst in späteren Zeiten, als die Klöster durch Schenkungen zu großen Reichtümern gelangten, wurden diese Regeln durchbrochen. Wir werden uns daher auch die älteste Kirche in Pforta mit einfach getünchten Wänden und farblosen Fenstern, durch ein in der Vierung angebrachtes Erlöserkreuz geschmückt und bei

Wiederherstellung der Abtscapelle wird indessen auch dieses werthvolle Ueberbleibsel aus der Klosterzeit daselbst hoffentlich den ihm gebührenden Ehrenplatz finden. Der Kuglerschen Beschreibung des Kreuzes entnehmen wir folgendes: „Es ist ein großes Kreuz von Brettern, mit Leinwand, welche einen Gipsgrund trägt, überzogen. Hierauf ist der gekreuzigte Heiland in colossalem Maße gemalt, an den Ecken die vier Symbole der Evangelisten. In der Zeichnung des Heilandes, dem hängenden Haupte, dem geschwollenen Bauche u. a., in dem Gefälte des breiten blauen Schurzes, in der Malerei, die ganz den Miniaturen byzantinischen Stiles entspricht, zeigt sich auf den ersten Blick die eigenthümliche Manier und die frühe Zeit, welcher dieses Werk angehört; es dürfte wenig ähnliches in Deutschland zu finden sein.“

Wie alle Cistercienserkirchen, wurde auch die unsrige der Jungfrau Maria geweiht. Besonderes Interesse erweckt sie dadurch, daß die mittelalterlichen Kunstrichtungen dreier Jahrhunderte an ihr in lebendigem Bilde vor uns treten. Der ältere Bau zeigt als Grundform das lateinische Kreuz und war in allen Theilen mit Ausnahme der mit Tonnengewölben geschlossenen Seitencapellen mit flachen Holzdecken versehen. Bei aufmerksamer Beobachtung läßt sich deren Höhenlage noch deutlich an einem wenn auch vermittelten Mauerabsatz unter den hohen Mittelschiffsfenstern erkennen. Die lichte Weite des Mittelschiffs betrug, wie heute, 8,10 m, die Höhe 10,60 m. Ueber die Länge der alten Kirche können wir auch nicht im Zweifel sein, da in den Dachböden über den Seitenschiffen an den in dem Gesamtgrundriß (Text-Abb. 5) durch die verschiedene Schraffirung der durchschnittenen Theile kenntlich gemachten Stellen die mit großen, tadellos bearbeiteten Quadern eingefassten Ecken der Mittelschiffswände noch wohl erhalten sind. Da der den Kreuzgang nach Westen abschließende Gebäudetheil mit dem Refectorium und Dormitorium der Laienbrüder (vgl. Text-Abb. 4) um seine Tiefe vor die Kirche nach Westen vorsprang, so begegnen wir hier einer gleichen Anordnung, wie in dem Mutterkloster Cîteaux, von dem Viollet-le-Duc in seinem *Dictionnaire raisonné de l'architecture française* eine Gesamtansicht giebt. Auch die Bebenhausener Anlage, bei der der fragliche Kreuzgangflügel etwa in seiner halben Tiefe vorspringt, hat Aehnlichkeit damit. Eine Eigenthümlichkeit in der ursprünglichen Anlage der Einsiedelei Pforta, für die ein Beispiel überhaupt fehlen dürfte, bestand darin, daß dem Südgiebel des Laienrefectoriums ein mit diesem in Verbindung stehender Gebäudetheil vorgelagert war, von dem noch zwei Bogenstellungen im Maßstab des Kreuzganges, zwei Fenster und eine beiderseits mit Dreiviertelsäulen besetzte Thüröffnung vorhanden sind (vgl. Text-Abb. 3). Leider sind von diesem Gebäude, das sich also in der Längsachse des nördlichen Seitenschiffs der Kirche nach Westen erstreckte, keine Nachrichten auf uns gekommen. Die Thür, welche in der südöstlichen Ecke des Laienrefectoriums nach dem gedachten Anbau führte, ist erst vor kurzem unter dem Wandputz entdeckt worden und trägt in ihrer Schlichtheit den Stempel der ersten Anlage. Sie öffnete sich (1,37 m weit) nach dem Refectorium und war hier mit einem Steinbalken wagerecht, auf der Außenseite mit einem halbkreisförmigen Stein von 1,60 m Durchmesser geschlossen. Es muß angenommen werden, daß die beiden dem Refectorium zunächst liegenden Bogenstellungen (Text-Abb. 3) einem Verbindungsgange und die dargestellten Fenster und Thüröffnungen einem größeren Gebäude angehört haben, welches zweistöckig war; denn das Gelände hat auf seiner Südseite, also vor dem Westgiebel der Kirche, 2,80 m höher, als dasjenige auf seiner Nordseite — jetzt der „Rectorhof“ genannt — gelegen. Ein Zweifel darüber, daß man es in jenen Bogenöffnungen mit der Vorderansicht eines Gebäudes zu thun hat, erscheint von vornherein ausgeschlossen. Noch heute sind im Bauarchiv von Pforta Grundrißzeichnungen aus dem Anfange dieses Jahrhunderts vorhanden, nach denen im Jahre 1821 an der eben beschriebenen Stelle Nutzbauten bestanden haben; ob in ihnen aber Baureste von kunstgeschichtlichem Interesse steckten, wird wohl niemals mehr nachgewiesen werden können. Mit Sicherheit erkennt man, daß bei der Verlängerung der romanischen Kirche nach Westen die Bögen der jetzigen Hofmauer aus-

gemauert wurden, weil sie hinterfüllt werden und eine beträchtlich vermehrte Belastung aus dem Kirchen-Seitenschiff aufnehmen mußten. Obwohl diesen ausgemauerten Bögen später noch ein kräftiger Strebepfeiler vorgelegt worden ist, haben an dem Westgiebel der Kirche doch ganz erhebliche Setzungen stattgefunden, die 1836 mit zu einer umfassenden Ausbesserung der Westfront Anlaß gegeben haben. Beispielsweise hängt die Altanbrüstung unter dem figurengeschmückten Mittelschiffgiebel (Blatt 38) nach der photogrammetrischen Austragung um 17 cm nach Norden über. Das Ergebniß war um so auffallender, als in Wirklichkeit eine Abweichung von der Wagerechten kaum zu erkennen ist. Die vorgenommene Abwiegung bestätigte indessen vollkommen das rechnerische und zeichnerische Ergebniß auf 1 cm Genauigkeit, ein Beweis für die Zuverlässigkeit der Meydenbauerschen Meßbildkunst, mit deren Hülfe die vorliegende Aufnahme des Bauwerks sehr gefördert und zu großer Genauigkeit gebracht worden ist.

Das Planschema des alten Oratoriums ergiebt der in Text-Abb. 4 dargestellte Grundriß. Es ist das einer Pfeilersäulenbasilika mit rechteckig geschlossenem Chor, an den sich beiderseits je zwei ebenso begrenzte Capellen legen. Die östlichen Außenwände dieser Capellen, welche man heute vor sich hat, sind bei der Gothisirung der Kirche im 13. Jahrhundert aus später zu erörternden Gründen neu aufgeführt worden, wie das herumgeführte gothische Sockelgesims beweist. Aus den Verkröpfungen dieses Gesimses an der Südseite wiederum müssen wir schließen, daß die beiden südlich gelegenen Capellen einst nach dem Friedhofe zu geöffnet gewesen sind. Im vorigen Jahrhundert sind diese beiden Capellen zu Logen für die Lehrer der Landesschule hergerichtet worden, und aus dieser Zeit wird daher vermuthlich die Vermauerung ihrer Bogenöffnungen und die Anlage der flachbogig geschlossenen Fenster stammen. Alle vier Capellen waren, wie noch heute, mit Tonnengewölben überspannt, die sich nach dem Kreuzschiff öffneten. Der Zwischenpfeiler zeigte keine weitere Gliederung, als ein kragsteinartig nach zwei Seiten ausladendes Kämpfergesims der ursprünglichsten Form, d. h. nur aus Platte und Schmiege bestehend (vgl. Text-Abb. 7, i). Aus einer an dem Stirnbogen der nördlichsten Seitencapelle befindlichen Inschrift, die in ihren Formen wenig von den altrömischen Majuskeln abweicht, geht hervor, daß diese Capelle St. Petrus und Paulus geweiht war; heute ist sie Sacristei. Die Annahme eines rechteckig geschlossenen Chores und ebensolcher Capellen glaube ich deshalb vertreten zu können, weil bei den Bauten des Cistercienserordens nicht das Landesübliche, sondern die Ordensregel entschied und die bedeutendsten Vorbilder wie Cîteaux, Maulbronn, Bebenhausen, Haina, Loccum und Walkenried, mit denen Pfortas Denkmäler in vielen Einzelheiten oft in überraschender Weise übereinstimmen, den rechteckigen Chor- und Capellenschluß aufweisen. Ich kann die hiervon abweichenden Angaben Corssens ebenso wenig gelten lassen, wie die Erklärung, welche er von der ursprünglichen Gestalt der Langhaus-Arcaden giebt. Er nimmt an, daß jedes Joch nur aus einem etwa 7 m weitgespannten Bogen bestanden hat, der an sich nicht stark genug war, um die bei der Gothisirung der Kirche erhöhten Mittelschiffwände zu tragen. Aus diesem Grunde seien die Zwischenpfeiler mit dem spitzbogigen Aufsatz (vgl. Blatt 41) eingefügt worden. Meine Ansicht hierüber ist in den Text-Abb. 1 bis 3 dargelegt. Da es indessen auch Fachgenossen giebt, die Corssen in diesem Punkte beipflichten,

so sei zur näheren Begründung der abweichenden Ansicht folgendes angeführt.

Selbst wenn man über die architektonische Unmöglichkeit des von Corssen angegebenen Systems (vgl. die punktierte Korbogelinie im Längenschnitt Text-Abb. 2) hinwegsehen wollte, so liegen immer noch gewichtige constructive Gründe gegen dasselbe vor. Bei dem im Mittelalter entwickelten Feingefühl für die Tragfähigkeit der Constructionen hätte man den gedachten Bögen sicherlich eine größere Stärke gegeben als 35 bis 37 cm, die sie aufweisen; man hätte sich auch wahrscheinlich nicht des Korbogens als sichtbaren Bogens bedient. Der Bogenscheitel nähert sich aber auch so sehr der Brüstung der alten Mittelschiffsfenster, daß es für die Lagerung des Firsträhms und für die Sparrenköpfe des Seitenschiffdaches schlechterdings am nöthigen Platz fehlt. Denkbar wäre dieses Seitenschiffdach überhaupt nur, wenn die Dachfläche von unterhalb sichtbar gewesen wäre, wofür z. B. in der Kirche St. Zeno in Verona allerdings ein Beispiel vorliegt. Man vermifft aber auch jegliche Spur von den Kragsteinen, die bei der Corssenschen Annahme zur Lagerung des Firsträhms unentbehrlich waren, während z. B. noch eine große Anzahl Rüstlöcher zu erkennen sind, die zum alten Bau gehören. Ebenso kommt auch in Betracht, daß, soweit sich das alte Mauerwerk seitlich der großen Bögen innerhalb der Zwickel der jetzigen Spitzbogenkappen übersehen läßt, noch überall dessen Bearbeitung mit dem Spitz Eisen scharf erhalten ist, während man andernfalls Reste von Wandputz finden müßte, mit dem die ganze Kirche überzogen war. Ich habe mich aber bei diesen Erwägungen allein nicht beruhigt, sondern auch im Innern der Kirche an den Leibungen der bewußten Bögen Untersuchungen angestellt. War meine Deutung zutreffend, daß die weitgespannten Jochbögen nur als Entlastungsbögen für die von mir vorausgesetzten Rundbogen-Arcaden (vgl. Text-Abb. 2) dienten, so mußten sich an den Bogenanfängern, die mit den Zwickeln der eingelegten Arcadenbögen aus einem Stein gefertigt zu denken sind, Spuren von der Abarbeitung dieser Zwickel finden lassen. Meine Vermuthung ist denn auch bestätigt worden. An dem mittleren Joche der Südseite zeigte der Bogenanfänger nach Entfernung des Putzes die nebenstehend abgebildete Form



Abb. 6.

(Text-Abb. 6), bei deren Anblick der hülfleistende Maurer ohne weiteres den Ausspruch that: „der Stein ist hier — d. h. im Bau steckend — nachgearbeitet worden, weil er unter dem Winkel gearbeitet ist.“ Der Handwerkskundige hatte Recht. Die Ecken zeigen einen spitzen Winkel und die Mitte der Leibungsfläche ist außerdem nur gespitzt. Auf dem Werkplatze wäre eine so fehlerhafte und unsaubere Arbeit ausgeschlossen gewesen. Auch den Umstand, daß die Entlastungsbögen nicht senkrecht über den Pfeilerkanten herauswachsen, sondern der Mehrzahl nach bis 10 und 12 cm hinter dieselben zurücktreten, glaube ich zu gunsten meiner Behauptung auslegen zu müssen, weil ein Anlaß zur Vergrößerung der Bogenspannweite wahrlich nicht vorlag, sondern, wie die Korbogelinie erkennen läßt, vielmehr das Bestreben bestand, den Bogen thunlichst niedrig zu halten. Es erscheint auch ganz begreiflich, daß man zur Beseitigung der von mir vorausgesetzten Säulenarcaden (Text-Abb. 2) schritt, da sich an den Bogenzwickeln über den Säulencapitellen die Rippenanfänger der spitzbogigen Gewölbe des Seitenschiffs nicht nachträglich einfügen ließen. Dazu mußte ein neues Element, der kräftige viereckige Zwischenpfeiler eingefügt werden, dessen Gesims

nun mit großer Naivetät, unbekümmert um die Höhenlage derjenigen der Bundpfeiler, so hoch gerückt wurde, wie es die Construction forderte (vgl. Blatt 41 Längenschnitt). Die Form dieser Zwischenpfeilergesimse ist bereits spezifisch gothisch, befriedigt im Maßstab aber ebensowenig, wie die gekünstelte und doch vollkommen verfehlte Einfügung der schiefen spitzbogigen Arcaden.

Uebrigens kann es auch nicht unbemerkt bleiben, daß die vom Kreuzgang zur Kirche führende Thür der Conversen, deren wir schon oben gedachten, in der Achse eines Kreuzgangjoches und einer der von mir beschriebenen Arcaden der Kirche liegt. Es ist aus Text-Abb. 5 ersichtlich, daß auf die Anordnung dieser Thür schon ursprünglich gerücksichtigt ist. Während nämlich die Nordseite des Kreuzganges acht gleiche Bögen hat, befinden sich auf seiner Südseite sieben große und an den Ecken zwei schmale Felder. Diese abweichende Theilung kann nur den Zweck gehabt haben, jene Thür auch zu einem Arcadenfelde der Kirche achsenmäÙsig zu stellen. Die Thür selbst ist, wie neuerdings durch Abschlagen des Putzes und der Vermauerung festgestellt wurde, in späteren Zeiten umgestaltet worden. Aus romanischer Zeit sind ferner die Durchgangsöffnungen von den Seitenschiffen nach dem Kreuzschiff erhalten. Merkwürdiger-

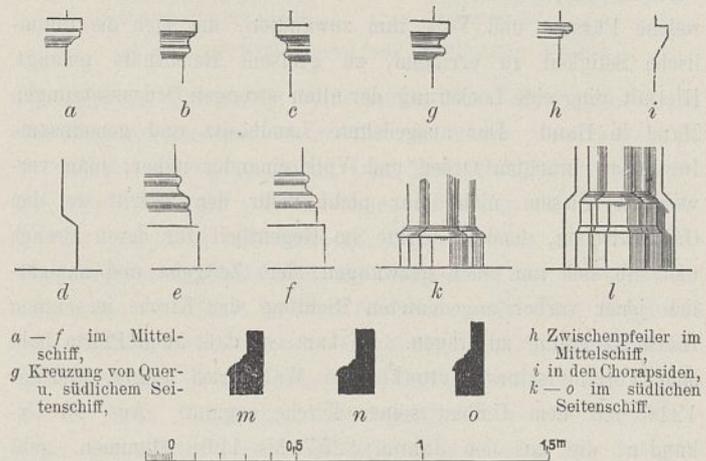


Abb. 7. Kämpfer-, Sockel- und Basen-Profile.

weise weichen sie in der Höhe um 55 cm von einander ab. Der südliche Durchgang ist offenbar erst in jüngster Zeit zugemauert worden, als die Evangelistencapelle zur Aufnahme eines Archives hergerichtet wurde. Obwohl die in dieser Capelle sichtbaren Außenwandflächen des alten Kreuzschiffs geschmackloserweise mit Goudron bestrichen sind, läßt sich doch erkennen, daß zwar auf die Bearbeitung der mächtigen Eckquadern Werth gelegt ist, daß aber die übrigen Flächen nur gespitzt und nach romanischer Art mit der Kelle ausgefugt waren.

In Text-Abb. 7 sind einige Kämpfergesimse und Sockelprofile der romanischen Basilika wiedergegeben. Die alten Mittelschiffsfenster waren mit theilweis noch erhaltenen, 10 cm starken, in einem Falz liegenden eichenen Rahmen versehen, an denen noch heute die Theilung der Windeisen erscheint. Die nicht mit den unteren Arcaden im Einklang stehende Achsentheilung dieser Fenster darf nicht überraschen, da sie auch bei anderen romanischen Kirchen, wie z. B. in St. Godehard in Hildesheim, vorkommt. Uebrigens sind die beiden Fenster über dem westlichsten Joch nicht etwa auf unserer Text-Abb. 2 willkürlich hinzugesetzt, sondern noch deutlich auf den Außenseiten der Mittelschiffswände erkennbar. Die bezügliche hiervon abweichende Darstellung Corssens ist also unzutreffend.

Ich erwähnte schon früher, daß das Mittelschiff im Anschluß an das Kreuzschiff zunächst eine geschlossene Wand von der Länge eines Gewölbejoches im jetzigen Bestande zeigte (vgl. Text-Abb. 2 u. 4). Ein Beispiel für eine solche Anordnung ist mir nicht bekannt geworden, und ich glaube, dieselbe mit der Abschließung der Conversen von den Brüdern, deren Gestühl an diesen geschlossenen Wänden gestanden haben mag, in Zusammenhang bringen zu sollen.

Die erste Umgestaltung erfuhr unser Oratorium in der Mitte des 13. Jahrh. Es folgte der Mode der Zeit, kann man wohl sagen; denn ein Raum- oder anderes Bedürfnis gab wohl kaum den Anlaß dazu. Ueberall wurden die schlichten Bethäuser zu hochgewölbten spitzbogigen Kirchen umgewandelt und mit verschwenderischem plastischen und anderem künstlerischen Schmuck ausgestattet, in dem die päpstliche Kirche damals, wie heute, ein bedeutsames Mittel erblickte, die Sinne der Gläubigen zu fesseln und damit den Glauben selbst lebendig zu erhalten. Hatte der Cistercienserorden schon in den ersten Jahrzehnten seines Bestehens große Verbreitung und Ansehen gewonnen, wie die Namen der bis dahin in Frankreich und in deutschen Gauen errichteten zahlreichen Klöster beweisen, so war er im weiteren Verlaufe der Zeit auch durch die umfangreichen Schenkungen, welche Fürsten und Volk ihm zuwandten, um sich die himmlische Seligkeit zu erringen, zu großem Reichthum gelangt. Hiermit ging eine Lockerung der alten strengen Ordenssatzungen Hand in Hand. Der ausgedehnte Landbesitz und gemeinsame Interessen brachten Orden und Volk einander näher; man verweigerte diesem nicht nur nicht mehr den Zutritt zu den Ordenskirchen, sondern wirkte im Gegentheil für deren Besuch und sah sich nun auch gezwungen, dem Zeitgeist und namentlich jener vorher angedeuteten Richtung der Kirche im eignen Hause Rechnung zu tragen. So kam es, daß auch Pforta bald dem Vorbild seines Mutterklosters Walkenried folgte, welches 1216 mit dem Umbau seiner Kirche begann. Aus 13 Urkunden, die aus den Jahren 1257 bis 1268 stammen, geht hervor, daß die im Bau begriffene Klosterkirche in Pforta von hohen Prälaten mit Ablafs ausgestattet wurde. Auch Citeaux selbst unterstützte die Brüder in Pforta dadurch, daß das dort tagende Generalcapitel der Aebte allen, die zu dem Neubau mit Almosen beitrugen, die volle Theilnahme „an den guten Werken des Ordens und dem durch dieselben erworbenen Lohne im diesseitigen und jenseitigen Leben zusagte.“<sup>5)</sup> Eine Inschrift an einem der südlichen Strebepfeiler des jetzigen Kirchenchores besagt, daß der Grundstein zu dem Chore am 21. März 1251 gelegt wurde, und lautet: „Anno domini MCCLI XII Kl. Aprilis positum est fundamentum huius sanctuarii.“ Der Meister des Baues war ohne Zweifel ein Ordensbruder. Seinen Namen erfahren wir aus einer Urkunde vom 28. Juni 1250, welche sich in dem von Professor Dr. Boehme in Pforta herausgegebenen „Urkundenbuch des Klosters Pforta“ unter Nr. 127 abgedruckt findet. Sie lautet im Regest: „Sibolo Propst, Bertha Aebtissin, Hedwig Priorin und der Convent des Nonnenklosters zu Wechterswinkel bekunden, daß sie Schulden halber das Dorf Leutenthal und 3 Hufen in Sachsenhausen dem Kloster Pforta verkauft und übergeben haben“ und fortfahrend: „Testes huius rei sunt Heinricus prior, Degenhardus camerarius, Albertus magister operis, Sibertus magister hospitum,

5) Corssen a. a. O. Seite 243.

*Winemarus notarius abbatis monachi...*“ Dann folgen die Namen einiger Conversen von Pforta und anderer Zeugen. Unter dem magister operis kann nicht wohl ein anderer, als der Stiftsbaumeister gemeint sein.

Bei aufmerksamer Prüfung finden wir, daß Albertus sehr geschickt bei Aufstellung seines Bauprogramms verfuhr. Die Kirche mußte während des Umbaues wenigstens theilweise benutzbar bleiben, weil eine lange Bauzeit bevorstand, und der vorhandene Capitelsaal ebensowenig zur Vornahme des Gottesdienstes ausreichte, wie die damals seit vielleicht 60 Jahren bestehende Privatcapelle des Abtes. Infolge dessen schloß er das Langhaus der Kirche nach Westen bei dem Kreuzschiff ab und begann nun gleichzeitig mit dessen Erhöhung und dem Aufbau des Chores, sowie der beiden über der heutigen Sacristei und über den entsprechend auf der Südseite gelegenen Capellen: Sancta trinitas und Sancta Margaretha. Der Beweis für dieses Vorgehen scheint mir untrüglich darin zu liegen, daß die Kunstformen in dem erhöhten Theile des Kreuzschiffs noch den Uebergangsstil oder doch wenigstens die früheste Zeit der Gothik zeigen, und daß die erhöhten Mittelschiffwände nachträglich gegen die bereits hochgeführten Kreuzschiffwände gegen-

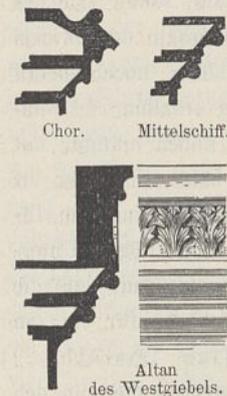


Abb. 8. Hauptgesimse.

gesetzt sind. In letzterer Beziehung verweise ich auf die in den beiden westlichen Kreuzschiffecken sichtbare Verzahnung des Mauerwerks, die nur bei Hochführung des Kreuzschiffs entstanden sein kann, und mit der die Lagerfugen im Mittelschiff fast nirgends übereinstimmen. Auch der Umstand, daß die Hauptgesimse des Kreuzschiffs, des Chores und des Langhauses (vgl. Text-Abb. 8) vollkommen von einander verschieden sind, daß ferner das Ornament im Langhause und den Seitenschiffen, sowie in der Evangelisten-capelle nicht bloß roher ausgeführt ist, sondern auch einer jüngeren Zeit angehört, dürfte für meine Annahme sprechen.

Aus den in Corssens Werk abgedruckten Urkunden erfahren wir, daß die Weihe des umgebauten Bethauses durch drei Bischöfe, Friedrich von Kareljen, Friedrich von Merseburg und Christian von Litauen, am 2. September 1268 stattfand. Die Kirche wurde bei dieser Gelegenheit aufser der bisherigen Patronin auch Johannes dem Täufer geweiht, der fast in allen Cistercienserkirchen eine besondere Capelle hat. Welche Grundrifs-gestalt die Kirche dabei erhalten hat, ersehen wir aus dem Grundrifs (Text-Abb. 5). Sie ist nur etwa 12 m nach Westen verlängert, und beim Vergleich der beiden Seitenschiffe erkennt man, daß das südliche an Breite zugenommen hat, daß also seine Außenwand hinausgerückt ist. Es war dies ein ganz natürlicher Vorgang, da bei der Anlage der Strebepfeiler und der weiträumigen Fenster, welche der Geschmack nunmehr verlangte, von der alten Mauer nichts übrig geblieben wäre. Aufserdem mußte sich das Seitenschiff dem Kreuzschiff aber auch so anfügen, daß neben dem letzteren zwei nahezu gleich große Gewölbefelder entstanden, zu denen die neuen Seitenschiffsfenster paßten.

Die Evangelisten-capelle, deren Zweck weder aus Urkunden noch durch Vergleich mit anderen Klosteranlagen nachweisbar ist, wurde dem südlichen Kreuzarm vorgelegt und mit

Bezug auf dessen Mittelachse des äußeren architektonischen Aufbaues wegen gegliedert.

Wie ich schon früher ausführte, wurden die Ostwände der vier Seitencapellen erneuert, weil ihre Bestimmung sich beim Aufbau der oberen Capellen änderte. Der Chor erhielt eine ganz neue Gestalt und wurde nach dem regelmäßigen Achteck geschlossen. Der 8 m im lichten weite und doppelt so hohe Bautheil ist der Glanzpunkt der ganzen Schöpfung, ein herrliches Meisterstück der ausgereiften Gothik (vgl. Bl. 41).

Wenn wir zu dem Kreuzschiff zurückkehren, so fällt zunächst auf, daß beide Arme niedriger eingewölbt sind als Vierung, Chor und Langhaus. Es hat dies seinen Grund darin, daß an den Ecken der Kreuzarme das nöthige Widerlager fehlte, und daß auch nicht die Möglichkeit bestand, daselbst Strebe Pfeiler vorzulegen. Außerdem war es auch wegen der Last aus dem Dachreiter und dem Glockenstuhl erwünscht, die Abschlufsbögen nach der Vierung zu niedrig zu halten, weil dieselben chorseitig in den Eckpfeilern nur ein schwaches Widerlager haben. Diese Eckpfeiler in Verbindung mit den großen Spitzbögen, mit denen sich die oberen Capellen nach dem Chor öffnen, sind übrigens ein schwacher Punkt in dem sonst wohldurchdachten System, und es ist leider zu befürchten, daß hier sehr bald Sicherungsmaßregeln werden eintreten müssen. Wir können Albertus den Vorwurf nicht ersparen, daß es ein Fehler war, die beiden östlichen Vierungsecken zum Zwecke der Anbringung der Dienste anzuschneiden, und daß es ebenso gewagt war, die Chorwand des ersten Joches neben dem Kreuzschiff durch Bögen abzufangen, für die kein genügendes Widerlager in der Kreuzschiffwand besteht, zumal letztere selbst auf Bogen gestellt ist (vgl. Text-Abb. 5 und den Grundriß Abb. 2 Bl. 39). An den Capitellen der Eckdienste (vgl. Abb. 4 Bl. 40 Vierungsschnitt) und dem Portalbau über dem unteren Treppenlauf auf der Nordseite des Kreuzschiffs (vgl. Längenschnitt Abb. 1 Bl. 41 und das Detail in Text-Abb. 9) erkennen wir noch romanisirende Formen, die lebhaft an diejenigen der Abtscapelle anklingen. Ebenso zeigen auch die Gurt- und die Diagonalrippen sowie die Schildbögen die frühe Form des Rechtecks mit ausgekehrten Ecken im Gegen-

satz zu den reichgegliederten Rippenprofilen in den übrigen Theilen der Kirche. Auffällig erscheint es dabei, daß in Abweichung von der sonst durchgehend befolgten Regel die Breite dieser Rippen größer, als deren Höhe ist. Die Kreuzgewölbe selbst sind in natürlichen Steinen ausgeführt und zeigen im Mittel-, südlichen Seiten- und Kreuzschiff eine quadratische, im übrigen eine rechteckige Grundform. Die Diagonalbögen der ersteren sind im Halbkreis, die der anderen nach der Ellipse geformt, und nur die Kappen in Richtung der Querachse des Chores sind

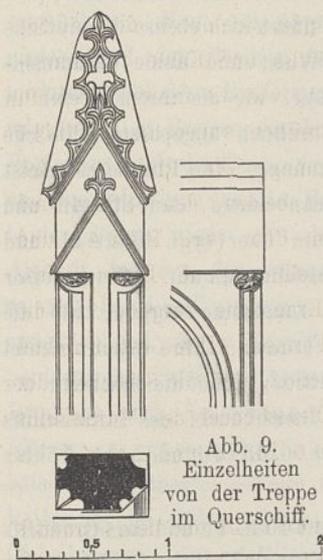


Abb. 9. Einzelheiten von der Treppe im Querschiff.

mit mäßiger Steigung im Scheitel, aber ohne Busen angelegt. Es ist daher vom statischen Standpunkt berechtigt, daß der Querschnitt der Gurt- und Diagonalrippen der gleiche ist. Die Rippenanfänger sind nirgend regelrecht und geschickt entwickelt. Meistens wachsen die Gurtruppen in ganzer Breite über den Capitellen

heraus. Sie erscheinen infolge dessen gegenüber den Diagonalrippen und den Schildbögen bevorzugt, die sich in verkümmelter Gestalt einfügen müssen. Von einer gewissen Gleichmäßigkeit ist dabei so wenig die Rede, daß sich heutzutage bei der Schwierigkeit der Ausführung kaum ein Steinmetz für diese Arbeiten finden würde. Im allgemeinen wachsen immer aus drei Diensten fünf Rippen hervor, und nur an zwei Stellen im Chor entspricht jeder Rippe ein Dienst. Daneben bestehen aber im Chore zartgegliederte eingebundene Schildbögen, die von kleinen Kragsteinen aufsteigen (vgl. Längenschnitt Abb. 1 Bl. 41). An Stelle der letzteren tritt auch zuweilen in der Form der entwickelten Gothik

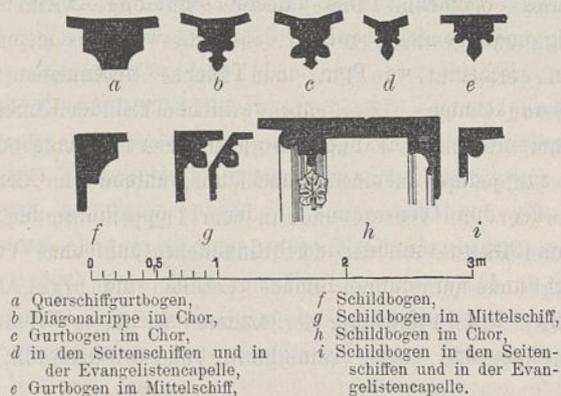


Abb. 10. Gewölberippen und Schildbogen-Profile.

ein einfaches den Ansatz verdeckendes Blatt (Text-Abb. 10, h). Die Rippenprofile sind eigenartig mit feinem Verständniß für die Schattenwirkung gezeichnet (vgl. Text-Abb. 10). Aus zartem Birnstab entwickelt sich die Rippe schnell in die volle Breite, und es entspricht ihre Höhe der Diagonale des mit der Breite beschriebenen Quadrats. In der Behandlung der Schlußsteine, von denen auf Blatt 42 und 55 eine große Zahl abgebildet sind, bethätigt sich so recht die ganze künstlerische Schaffensfreudigkeit des Bruders Albertus. Das reiche Profil der Rippen ist an ihren Seitenflächen herumgeführt, und die Unterfläche deckt eine seitlich vortretende tellerartige Scheibe, der das stets wechselnde, rein naturalistische oder stilisirte, figürliche oder Laub-Ornament eingefügt ist. Hier findet sich das Laub der Rebe, der Eiche, des Feldahorns und Kreuzdorns, des Epheus, der Distel u. a. m. zu zierlichen Kränzen gewunden oder zu reizvollen Rosetten unter Verwendung von Knospen und Blüten zwanglos zusammengestellt; daneben erscheinen die stilisirte Rose und die Sterne am Himmelszelt. Von den figürlichen Darstellungen beanspruchen vier Schlußsteine, die der Evangelistencapelle ihren Namen gegeben haben, besondere Beachtung. Die Sinnbilder der Evangelisten sind hier mit bewundernswerthem Verständniß stilisirt, und der Engel des Matthäus zeigt für jene frühe Zeit überraschend gute Verhältnisse. In den beiden Seitenschiffen sind der geflügelte Löwe des Marcus und der Stier des Lucas noch einmal dargestellt, dazu das eine Fahne tragende Lamm Gottes, die Taube, das Sinnbild des heiligen Geistes und ein Mönchsbildniß innerhalb eines Laubkranzes, in dem wir möglicherweise das Bildniß des Erbauers vor uns haben. Sehr wenig gelungen dagegen erscheint die Darstellung des die Nägelmale zeigenden Heilandes und der beiden neben ihm nur skizzenhaft angedeuteten Schächer im Mittelschiff. Die Bemalung der Schlußsteine und Rippenansätze entspricht vielleicht noch dem alten Zustande, obgleich natürlich mehrfach neue Ausmalungen stattgefunden haben. Ueber eine solche Erneuerung des Anstrichs besagt ein Actenvermerk aus

der Jahresrechnung der Landesschule von 1576/77 folgendes: „21 Schock dem Maler Blasius Oswald zu Naumburg die Kirche zu renoviren und zu malen. Aufserdem noch 6 Schock 29 Grosch. 5 Pfg. für Leim und Farben (Perkgrün, Lasur, Saftgrün, Menige, Niederländ. pleigelbe Zinnober, Bleiweifs, ockergelb usw.)“. 1674/75 ist dann abermals nach Wiederherstellung des Putzes eine Ausmalung durch Maurer Peter Sonnenkalben aus Naumburg erfolgt.

Wie wenig man Mühen gescheut hat, um das ehemals ganz schlichte Gotteshaus würdevoll zu gestalten, läfst sich an den nachträglich in das alte Mauerwerk eingebundenen Diensten des Langhauses erkennen. Diese äußerst schwierige Arbeit ist so sorgfältig und geschickt bewirkt, dafs alles wie aus einem Gufs auch da erscheint, wo Putz und Tünche Unebenheiten nicht verschleiern konnten. Der ganze westliche Theil der Kirche bis zum Chor einschl. der Evangelistencapelle weist nur eingebundene Dienste zu je drei in einem Bündel auf, während im Chor der mittlere der drei Dienste und an dem Treppenthurm die mittleren drei Dienste von den dort befindlichen fünf ohne Verband vorgelegt und nur durch Bunde gehalten sind (vgl. Abb. 4 Blatt 39). Die Profilierung der letzteren ist ihrem Wesen vorzüglich angepafst, dabei mannigfaltig und wirkungsvoll. Das

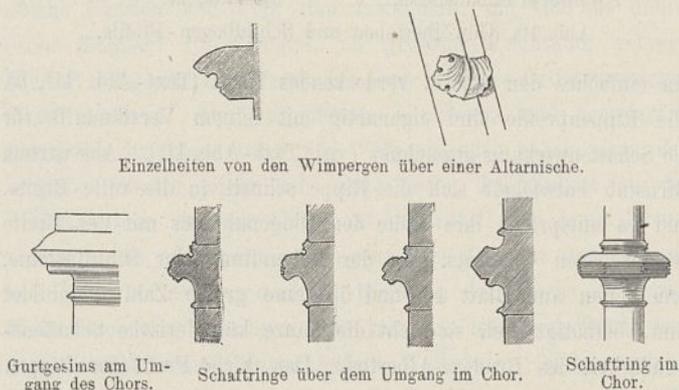


Abb. 11. 1:30.

nördliche Seitenschiff unterscheidet sich insofern wesentlich von den eben beschriebenen Theilen der Kirche, als hier die Dienste der Raumerparnis wegen durch schlichte halbe Achteckspfeiler und Kragsteine ersetzt sind. Von letzteren erinnern einige an englisch-gothische Formen (vgl. Abb. 5 Bl. 40). Ihre Grundform bildet zwar auch das Profil des gothischen Kelchcapitells, dieses ist aber achteckig gestaltet und an seinen Seitenflächen mit Ausnischungen versehen, die unten spitz zusammenlaufen und oberhalb z. B. in einem Kleeblattbogen endigen. Nur ein Kragstein, sehr nahe dem ehemaligen Westportal, weicht der Form nach vollständig von den vorigen ab. An ihm sind ein an einem Weinblatt nagender Geisbock und ein Adler dargestellt, der in seinen Fängen eine Taube hält (vgl. Abb. 25 Bl. 55). Corssen deutet diese Darstellungen dahin, dafs der Bock als Sinnbild des Ketzer-glaubens aufzufassen ist, der den wahren Christenglauben zernagt, und dafs durch den Adler und die Taube auf die der Kirche Gewalt anthuende Weltmacht hingewiesen werden soll.

Mit Ausnahme weniger Capitelle in dem Kreuzschiff, deren früher Form schon Erwähnung geschah, finden wir im übrigen Bau die Laubwerkcapitelle der reifen Gothik, die ihren ganzen unerschöpflichen Ornamentenreichthum hier aufs glänzendste entfaltet. Zum weitaus grössten Theile sind diese Capitelle, wie aus Blatt 55 ersichtlich, vortrefflich entworfen und tadellos ausgeführt. Der Grundsatz der Eckunterstützung ist mit wenigen Aus-

nahmen, wo die zarte durchsichtige Arbeit an Filigran erinnert, deutlich ausgesprochen. An dem Abacus vermifst man fast durchweg die sonst allgemein übliche untere lothrechte Seitenfläche, und stellenweise, wie z. B. am nordöstlichen Vierungspfeiler, schrumpft er sogar zu einer einfachen Platte zusammen.

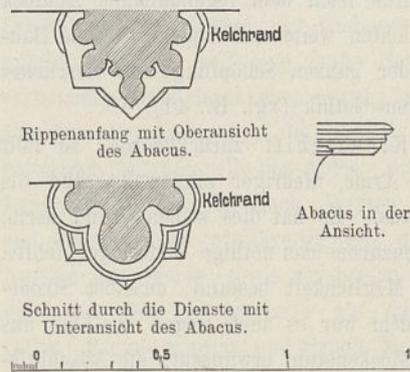


Abb. 12.  
Abacus in der Evangelistencapelle.

Seine Grundform ist im Chor das Quadrat, in der Evangelistencapelle, die in spätere Zeit fällt als der Chor, kommt aber auch die nebenangedeutete Form (Text-Abb. 12) vor, der der Gedanke eines möglichst engen Anschlusses an den Rippenansatz zu Grunde liegt. Die meisten Capitelle sind hier auch ohne Geschmack

entworfen; das Blattwerk erscheint roh in der Form, die Arbeit selbst unwürdig und nachlässig, denn fast kein Capitell pafst zu den Diensten. An anderen daselbst befindlichen Capitellen sehen wir in beinahe kindlich zu nennender Weise einen Zweig unten um den Kelch geschlungen, der seine Blätter regellos nach oben entsendet. In dem Mittel- und südlichen Seitenschiffe begegnen wir wieder vielfach hübsch gezeichneten, an den Capitellkelch lose angelegten, aufstrebenden blüthen- und fruchtgeschmückten Zweigen, einer bekannten Form der entwickelten Gothik. Bei anderen tritt der Umrifs des Kelches voll in Erscheinung, die Blattstengel sind ihm aber ohne Relief aufgelegt, und aus ihnen wachsen nach den Seiten des achteckigen Abacus kümmerlich kleine Blättchen hervor, die den Rand des Kelches zum Theil verdecken. Es herrscht hier die achteckige Abacus-Form vor, das bezeichnende Princip der Eckunterstützung des gothischen Capitells ist also im allgemeinen aufgegeben. Die Astragale der Capitelle haben fast im ganzen Bau die Linsenform mit schwacher Schweifung im unteren Theile.

Von grofser Mannigfaltigkeit sind wiederum die Sockelprofile an Pfeilern und Diensten. Es findet sich ebenso die einfache Schmiede und die attische, aus Wulst und Kehle zusammengesetzte Form der romanischen Zeit, wie die ihrem Wesen in den gedrückten Formen der Stäbe trefflich angepafste gothische Basis in schlichter und reicher Zeichnung. Die Plinthe hat meist achteckige Gestalt und weist bei den beiden, den Stiftern und Patronen geweihten Seitenaltären im Chor (vgl. Blatt 41 und Abb. 3 Blatt 39) gefällige Zusammenstellungen auf. Die in grofser Zahl in der Kirche vorhandenen Kragsteine bergen, wie die Capitelle, einen wahren Schatz an Formen. Ihre Gestalt richtet sich in jedem Falle nach ihrer Function, und die Schönheit der Zeichnung gipfelt in einigen die Dienstbündel des Mittelschiffs aufnehmenden Beispielen (vgl. Abb. 6 Bl. 40 und Abb. 15 bis 19 Bl. 55).

Wie aus den Schnitten auf Blatt 40 u. 41 und dem Grundrifs auf Bl. 39 zu ersehen ist, läuft um den Chor ein Umgang von beträchtlicher Breite, der von der Trinitatiscapelle und vom Treppenthurm aus zugänglich ist. Seine Gestalt bietet nichts neues, folgt vielmehr dem üblichen Schema unter Hereinziehung der Strebpfeiler in das Chor-Innere. Eigenartig erscheint aber die Ausnutzung der Mauern unterhalb des Umganges zur Anlage von Wandschränken, Seiten-

altären, Weihwasserbecken und Nischen für Chorstühle, sowie deren Einzelausbildung. Die Nischen der Seitenaltäre werden von zwei Dienstbündeln flankirt, auf denen Sockel nach Art der frühgothischen Kronleuchter mit Baldachinen von reizvoller Erfindung angebracht sind. Hier sind die Standbilder der Patrone und Stifter der Kirche aufgestellt worden. Dasjenige des Grafen Bruno von Pleissengau scheint der Rüstung nach aus dem 15. Jahrhundert zu stammen, während die übrigen etwa dem Ende des 13. Jahrhunderts angehören. Die Giebelung über den Altarnischen bildet ein mit frühgothischen Laubbossen besetztes kräftiges Ueberschlaggesims. Gekrönt ist sie mit einem urwüchsigen achtseitigen Knaufe, der mit Perlschnüren inmitten seiner eingezogenen Seiten verziert ist. Noch eigenartiger erscheinen die Wimpergen über den beiden großen Chorstuhlnischen, obwohl die Lösung eher künstlich als schön und nachahmenswerth zu nennen ist; der Steinmetz hat die ihm gestellte schwierige Aufgabe, namentlich was den Steinschnitt anbetrifft, sehr geschickt gelöst. In der südlichen der beiden Nischen ist noch ein Chorstuhl vorhanden, dessen Seitenwände eine schöne Holzbildhauerarbeit von sehr beachtenswerthem Entwurfe zeigen (vgl. Abb. 3 Bl. 41). Eine Nachbildung befindet sich im Germanischen Museum. Allgemeiner bekannt ist der aus dieser Zeit stammende Altartisch, weil er seiner schönen Zeichnung wegen in vielen kunstgeschichtlichen Werken abgebildet ist (vgl. Abb. 4 Bl. 40). Die an den Chor- und Mittelschiffswänden zerstreut dargestellten gleicharmigen, von Kreisen umschlossenen Kreuze erinnern an Diöcesan-Bischöfe, welche Altäre, Capellen u. a. m. hier geweiht haben. Aehnliche Kreuze finden sich schon in der um 60 bis 70 Jahre älteren Abtscapelle, wenn auch nicht in so anspruchsvoller Größe. — Die Gestalt der Trinitatis- und Margarethencapelle

ist in dem Schnitt Abb. 1 Bl. 40 dargestellt. Obwohl das Blattwerk einzelner Kragsteine hier schon eine krause, an die Krabben der spätgothischen Wimpergen erinnernde Zeichnung hat, so beweisen doch die Formen der in frühgothischer Art zusammengesetzten Fenster und Rosen, die Profile der Rippen u. a. m., dafs diese Capellen mit dem Chor gleichalterig sind. Auffällig erscheint es, dafs es nur bei einem schwachen Versuch geblieben ist, die aus einem einfachen Wulst bestehenden Schildbögen der Seitenschiffe hier anzuwenden. In der Trinitatiscapelle befinden sich noch ein alter schlichter Altartisch aus Stein, ein in die Wand eingelassenes, mit Wasserabschluss nach aufsen versehenes Weihwasserbecken, Wand- und freistehende Schreine ehrwürdigen Alters mit überladen reichem Beschlage. Zu der Margarethencapelle gelangt man heute zwar nur über den Chorumgang, ehemals wird aber sicher eine Treppe aus dem Kreuzschiff unmittelbar zu ihr geführt haben, worauf eine in ihrer südlichen Ecke befindliche Thürnische hinweist. Schon zu kursächsischer Zeit war man mit dieser Capelle barbarisch verfahren. Das Eckfenster am Chor hatte man seines Mafswerks beraubt und — so unglaublich es klingt — eine Thür daraus gemacht, an die sich von aufsen, also vom Friedhof her, eine Holzterrasse anlehnte. Dieser geschmacklose und unwürdige Zugang ist für fürstliche Gäste bestimmt gewesen, wie aus den Bezeichnungen auf einer Zeichnung vom Jahre 1836 geschlossen werden kann. Man hat damals einen weiteren Umbau vorgenommen, die Gewölbe beseitigt und an ihrer Statt eine Holzdecke eingezogen. Der Vandalismus hat an verschiedenen Stellen zu auffälligen Rissen im Mauerwerk geführt. Bei der umfassenden Wiederherstellung der Kirche in den Jahren 1855/56 ist schliesslich der alte Zustand jener Seitencapellen wieder hergestellt worden. (Schluss folgt.)

## Die neue Rathsapotheke in Bremen.

(Mit Zeichnung auf Blatt 43 im Atlas.)

(Alle Rechte vorbehalten.)

Die alte Rathsapotheke an der Westseite des Marktplatzes in Bremen war ein von zwei reichen Giebelhäusern eingefafster schmuckloser Bau. Sie brannte im Jahre 1893 zum Theil nieder, und der Besitzer beschlofs die neue Marktfront in modernen schlichten Bauformen ganz erneuern zu lassen. Damals war jedoch in Bremen die Achtung vor der Kunstübung unserer Vorfahren und die Lust an der Errichtung neuer, der Würde und dem Reichthum der alten Hansestadt angemessener Monumentalbauten längst wieder erwacht. Der alte Markt inmitten der Altstadt, auf dem der steinerne Roland, wie vor Jahrhunderten, so noch heute auf ein reges Getriebe schaut, feierte seine Auferstehung und war im Begriff, sich in einen der schönsten Plätze norddeutscher Städte zu verwandeln. Im Osten erstand die neue Domfront nach Salzmanns, des verstorbenen Dombaumeisters Plänen zu neuem Glanze, an der Nordseite prangte das von häfslichen Zuthaten befreite und von nun an sorgsam gehütete Rathhaus, im Süden plante man neben reichgegliederten alten Giebelhäusern neue stattliche Fronten. Hier harrte auch der Schütting, ein kraftvoller Bau aus dem Anfange des sechzehnten Jahrhunderts, der Wiederherstellung, die jetzt im vollen Gange ist. Nur die Westseite des Marktes entbehrte noch eines bedeut-

samen Mittelpunktes. Der erwähnte Brand und der beabsichtigte Neubau boten nun die beste Gelegenheit, einen solchen zu schaffen.

Dieser Gedanke fand die Billigung des Besitzers und die lebhafteste Theilnahme der Bremer Architektenkreise, des Staates und kunstsinniger Bürger. Die nothwendigen Mittel wurden bald beschafft, und in den Jahren 1893 und 1894 konnte nach Salzmanns Plan die neue Front in edlen Formen der deutschen Renaissance errichtet werden. Die Kosten der Sandsteinfront und der Dacheindeckung beliefen sich auf 42 000 M, wovon je 15 000 M der Besitzer und die Bremer Staatsbehörden beisteuerten, während der Rest aus der Hand kunstsinniger Bürger flofs.

Die Sandsteine sind fertig bearbeitet aus Bunzlau bezogen, die Kupferschmiede- und Schlosserarbeiten sind von Bremer Meistern gefertigt. Die neue Front der Rathsapotheke stellt sich, jetzt noch strahlend im Glanze der Vergoldung, als würdiges und gleichberechtigtes Glied in die Reihe der den alterthümlichen Markt umgebenden Gebäude, sie ist ein redendes Zeugniß für die Begabung ihres Erbauers und den mit Opferwilligkeit gepaarten Kunstsinn der Bürger Bremens.

Bremen, im Mai 1897.

E. Ehrhardt.

## Das Kaiser Wilhelm-Denkmal an der Westfälischen Pforte.

(Mit Abbildung auf Blatt 44 im Atlas.)

(Alle Rechte vorbehalten.)

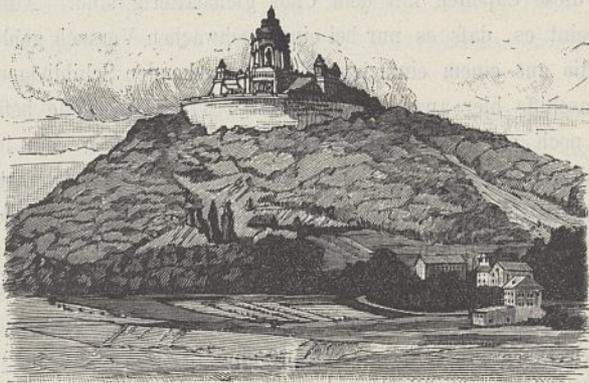


Abb. 1. Gesamtansicht (Wettbewerb-Entwurf).

Vom Wittekindberge an der „Weserscharte“, wie der Volksmund jenen Bergeschnitt nennt, durch den sich die Weser einst ihren Weg in die norddeutsche Tiefebene bahnte, schaut seit dem Herbste vorigen Jahres der gewaltige Denkmalbau in die Lande hinein, den die Provinz Westfalen dort, an der Pforte ihrer gesegneten Fluren, dem ersten deutschen Kaiser errichtet hat. Das vollendete Werk liefert den Beweis, wie glücklich man in der Wahl des Standortes für das Denkmal gewesen ist, und mit welchem Erfolge man an einem derartigen Platze, in weiter, freier Natur, der Architekturschöpfung den Vorzug vor dem vorwiegend bildnerischen Ehrenmale giebt. Die gedrungene Form insbesondere des durch breitgelagerte Rundterrassen vorbereiteten Baldachinbaues schmiegt sich hier den Massen des Wittekindberges vortrefflich an und giebt einen guten Ruhe- und Mittelpunkt für das über die welligen Linien der ausgedehnten Landschaft schweifende Auge.

Die Entstehungsgeschichte des Denkmals ist bekannt.\*) Kurz sei daran erinnert, daß neben dem Platze an der Westfälischen Pforte noch die Hohen-syburg bei Hagen i. d. Mark und auch die Provinzialhauptstadt Münster für die Errichtung des Denkmals in Frage gekommen waren. Nur mit geringer Mehrheit entschied sich der westfälische Landtag für

\*) Vgl. u. a. Centralblatt der Bauverwaltung 1890, S. 388 und Jahrgang 1896, S. 469.

den gewählten Standort. Im Jahre 1890 wurde ein Wettbewerb unter den deutschen Künstlern ausgeschrieben, der mit 58 Entwürfen beschiedt wurde, und aus dem der Architekt Professor Bruno Schmitz als Sieger hervorging. Die Vorzüge des Schmitzschen Entwurfes waren so überzeugend, daß er vom Preisgericht fast bedingungslos zur Ausführung empfohlen werden konnte, die denn auch sehr bald, im October 1890, von der Provinz beschlossen wurde. Die Bauvorbereitungen, besonders die mit allerhand Schwierigkeiten verknüpften Grundstückerwerbungen nahmen andert-halb Jahre in Anspruch, im Sommer 1892 begannen die Bauarbeiten, und am 18. October 1896 wurde die Vollendung des Denkmals in Gegenwart Ihrer Majestäten des Kaisers und der Kaiserin gefeiert.

Blatt 44 und die Text-Abbildungen 2, 4 und 5 geben eine Vorstellung von dem ausgeführten Werke. Sein Vergleich mit dem in Abbildung 1 und 3 dargestellten Entwürfe der Preisbewerbung ist lehrreich. Die Gesamtanordnung ist die gleiche geblieben. Achtundzwanzig auf dem tragfähigen Felsen des Berges aus dem Kalkgestein desselben errichtete Pfeiler stützen den mit etwa 60 m Halbmesser geschlagenen halbkreisförmigen Rand einer unteren Ringterrasse. Sie sind fast vollständig mit einer durch trockene Steinpackung gesicherten Erdanschüttung verdeckt; sichtbar werden nur ihre Köpfe, über denen sich

flache Bögen zum ringförmigen Kranze zusammenschließen. Die Bögen tragen eine niedrige, mit schlichten Wasserspeiern besetzte Uebermauerung, und auf dieser umzieht zwischen kräftigen, mit flachen Pyramiden abgeschlossenen Pfeilern eine Brustwehr die etwa 24 m breite Terrassenfläche.

Auf der Ringterrasse liegen die nahezu gleichen Standpunkte, von denen aus die Ansichten Abbild. 3 und auf

Blatt 44 genommen sind. Der Vergleich läßt erkennen, daß im Gesamt-Baugedanken und auch in den Hauptverhältnissen von dem ersten Entwurfe kaum abgewichen worden ist. Der Grundrifs und die Gestaltung des Auf-

baues im großen und ganzen, die Gliederung der Hauptmassen, die Anordnung der Treppenläufe, die Vertheilung des maßvollen bildnerischen Schmuckes, die Art der Standbildaufstellung endlich, das alles ist im wesentlichen beibehalten. Die Abweichungen

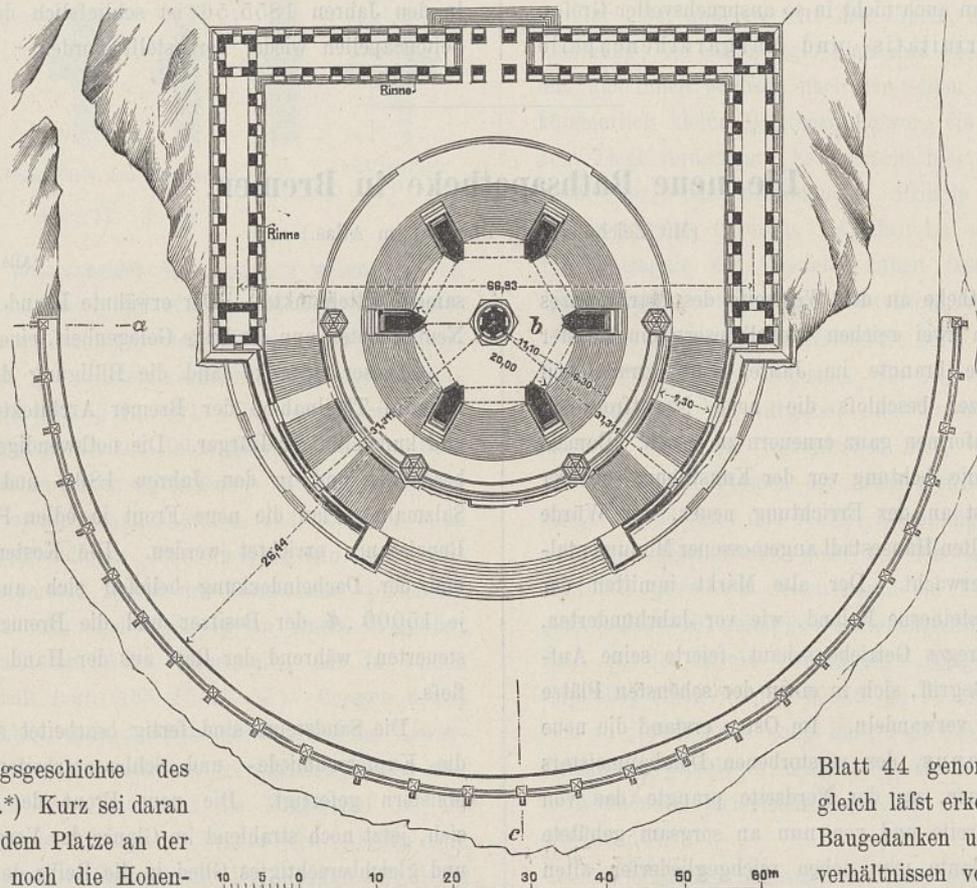


Abb. 2. Grundrifs (Ausführung).

erstrecken sich vornehmlich nur auf Einzelheiten und sind durchweg als Ausreifungen und Verbesserungen anzusehen: Die Verhältnisse sind feiner abgewogen, sind edler geworden; die etwas

gewaltsame Derbheit der Gliederung ist zurückgedrängt. Während nach den Andeutungen des Entwurfes früher die Architekturtheile fast durchweg glatt oder doch wenigstens flächig bearbeitet angenommen waren und nur Theile der Mauerflächen des Unterbaues cyklopisches Mauerwerk zeigten, hat Schmitz jetzt die von ihm wohl vornehmlich in America nach den Werken Richardsons studirte und

mit so vielem Erfolge bereits bei seinem Kyffhäuserdenkmal angewandte Bossenbauweise fast auf alle Theile des Denkmals ausgedehnt. Nicht nur beim Unterbau sind Sockel, Pfeiler und Flächen theils lagerhaft, theils cyklopisch in Portasandstein-Blöcken ausgeführt, die in ihren Ansichtsflächen das unregelmäßige Bruchgefüge behalten haben, auch der ganze Baldachinbau ist bis auf das Kegeldach, die profilirten Structurtheile und das wenige Schmuckwerk in dieser kraftvollen Weise behandelt; ja selbst einige Gliederungen, wie der breite Gurt des halbrunden Unterbau-Deckgesimses, die Sockelplatte der Baldachinpfeiler, die in florentinischer Art behandelten Bogenquadern u. a. m., zeigen den Stein in der Schönheit der ihm von der Bruchbearbeitung her anhaftenden Zufälligkeiten.

Eine der wesentlichsten und besonders glücklichen Abweichungen der Ausführung vom Entwurfe beruht in der Umänderung des schweren, übertrieben

eckigen Massiv des Baldachins aufgebaut, stützt diese den Traufwand des Kegeldaches und bildet nach innen Einsätze in den parabolischen Stichkappenöffnungen, die — eine interessante, vom Ingenieur R. Cramer angegebene und berechnete Steinconstruction — in die das Innere des Baldachins überspannende Kuppelhaube eingeschnitten sind und den Schub des schweren Daches auf die Baldachinpfeiler übertragen.

Außen wird die Zwerggalerie kräftig getheilt durch sechs über den Baldachinpfeilern aufschiefende quadratische Pfosten, die in kronenartigen Bildungen endigen.

Die Galerie selbst besteht in je drei Oeffnungen zwischen gedrungenen Bündelpfeilerchen. Das Hauptgesims unter und das Dachgesims über der Galerie sind um die großen Pfeiler gekröpft; vor jedem Hauptgesims kropfe sitzt ein knorriger Wasserspeier zur Erzielung der erwünschten kraftvollen Umrislinie.

Als weniger ins Auge fallende Aenderungen sind noch zu erwähnen der Ersatz der steinernen Brustwehr der oberen Ringterrasse durch ein schlichtes Eisengeländer, eine Mafsregel, die eine Verminderung der Höhe des Baldachinfusses ermöglichte, ohne diesen für den Blick von der unteren Terrasse, also für den Standpunkt unserer Abbildungen, zu sehr versinken zu lassen; ferner der Wegfall der Wappen über den Baldachinpfeiler-Köpfen, die vereinfachte Gestaltung des Kaiserstandbild-Sockels und der Ersatz der reichen Wappentafel an der Vorderwand der oberen Terrasse durch eine schlichte Inschriftfläche mit der zwischen zwei decorativen Wap-

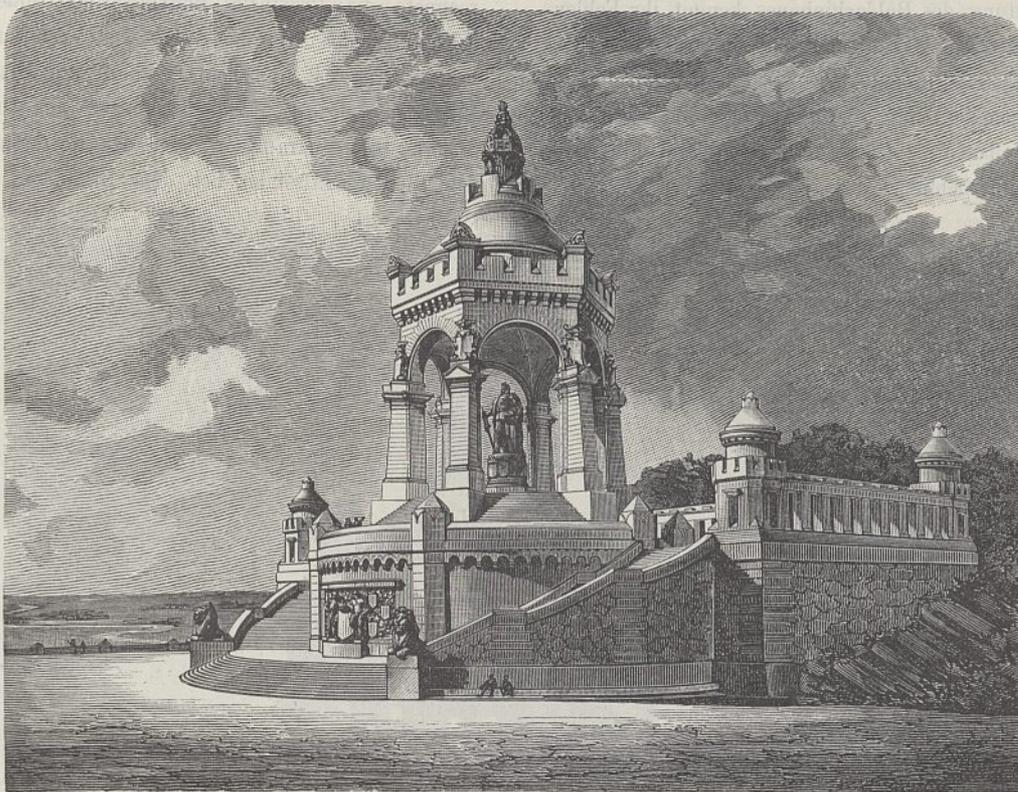


Abb. 3. Ansicht von der unteren Ringterrasse (Wettbewerb-Entwurf).

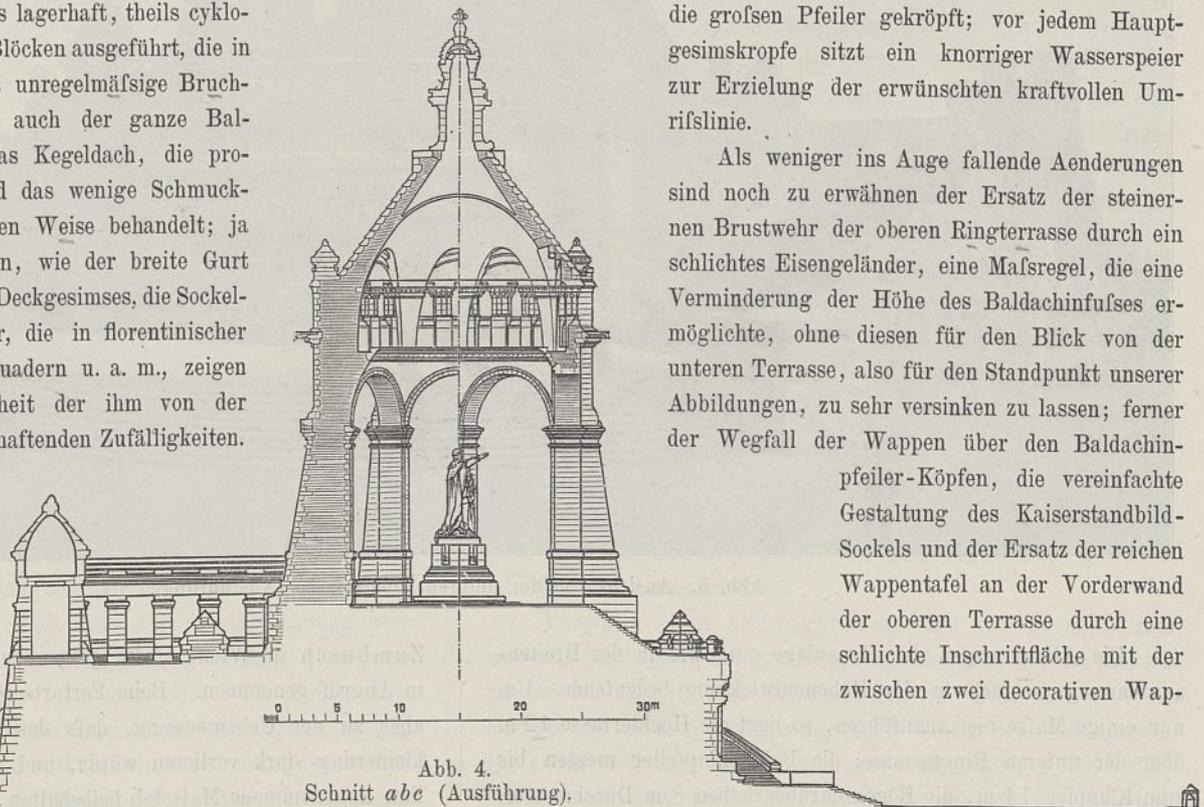


Abb. 4. Schnitt abc (Ausführung).

wichtigen Zinnenkranzes über dem Kragstein-Hauptgesimse des Baldachins in eine höchst interessant gebildete Zwerggalerie, über deren Anordnung Blatt 44 und die Abb. 4 u. 5 näheren Aufschluss geben. In kreisrunder Grundriffsform über dem sechs-

penschildern angebrachten Widmung „Wilhelm dem Großen — die Provinz Westfalen.“ Vorläufig Abstand genommen ist endlich von den auf den Wangen des unteren Treppenlaufes Wache haltenden Löwen und von der den rückwärtigen Theil der Hochter-

rasse rechteckig umziehenden Pfeilerschranke. Letztere ist einstweilen durch eine Zinnenbrüstung ersetzt und dürfte füglich, wie die Ansicht Blatt 44 und Abb. 5 lehren, zu entbehren sein; der Kraft und Bedeutung des Baldachinbaues kommt ihr Fehlen sogar unzweifelhaft zu gute. Weniger leicht zu missen ist der vom Architekten beabsichtigte Schmuck der Kuppel mit einem reichfarbigen Mosaikgemälde; die vorderhand einfach weiß getünchte Kuppelfläche beeinträchtigt den weihvollen Eindruck des Denkmals nicht unerheblich.

Sockel etwas klein ausgefallen ist, so erklärt sich das aus der Entstehungsgeschichte des Denkmals. Bei der genauen Veranschlagung des ursprünglichen Schmitzschen Entwurfes nämlich rechnete die Provincial-Bauverwaltung eine erhebliche Ueberschreitung des für das Werk zur Verfügung stehenden Geldbetrages heraus, und man beschloß auf Grund dessen die Verkleinerung des Denkmals um etwa ein Drittel seiner Größe. Schmitz ging darauf ein, und das Kaiserstandbild wurde nach dem neuen Maßstabe bei dem Bildhauer Prof. Casper von



Abb. 5. Ansicht von der unteren Ringterrasse (Ausführung).

Die Abmessungen der Bauanlage sind wie in der Breitenausdehnung so auch in der Höhenentwicklung bedeutende. Um nur einige Maße hier anzuführen, so liegt die Hochterrasse 12 m über der unteren Ringterrasse; die Baldachinpfeiler messen bis zum Kämpfer 14 m, die Bögen darüber haben 8 m Durchmesser, und der Baldachin, dessen Grundrißmaß mit der zwischen seinen Pfeilern aufsteigenden Treppe 32 m Durchmesser beträgt, hat über der Hochterrasse eine Gesamthöhe von 51 Metern. Wenn diesen Abmessungen des Bauwerks gegenüber das Kaiserstandbild selbst in seiner Höhe von 7 m ohne und von 12 m mit

Zumbusch in Wien, einem geborenen Westfalen, bestellt und in Angriff genommen. Beim Fortarbeiten gelangte der Architekt aber zu der Ueberzeugung, daß das Denkmal durch die Verkleinerung stark verlieren würde, und daß der ursprünglich von ihm angenommene Maßstab beibehalten werden müsse. Er setzte dies für die Architektur auch durch; für das Bildwerk war die Aenderung jedoch nicht mehr thunlich, und so ist es gekommen, daß dieses jetzt im Verhältniß zu seinem baulichen Rahmen etwas zu klein ist. Uebrigens wird das nunmehrige Verhältniß gar nicht so als Mißverhältniß empfunden, wie man befürchten

möchte. Das Denkmal wirkt jetzt architektonisch bedeutender, scheinbar größer. Aus größerer Entfernung genießt man aber und soll man nur das Denkmal als architektonisches Ganzes genießen; das liegt in der Natur der Sache und in der künstlerischen Absicht des Urhebers. Und tritt man zur Betrachtung des Standbildes selbst näher heran, so geht der Ueberblick über das Bauwerk verloren, die Aufmerksamkeit richtet sich bereits vornehmlich auf das Kaiserbild, und da dieses in seiner näheren Umgebung durchaus gut sitzt und sich maßstäblich im Einklange mit den architektonischen Einzelheiten in seiner Nachbarschaft befindet, so wird man alles in allem von der Wirkung vollständig befriedigt sein.

Wie der architektonische Theil des Denkmals, so ist auch das Kaiserstandbild selbst ein höchst gelungenes Werk. Seine Auffassung entspricht dem Geiste, in dem das Bauwerk geschaffen ist. Zumbusch hat den Kaiser idealisirt dargestellt. Zwar ist der Held, den der Künstler in der rüstigen Kraft jener

Jahre gebildet hat, in denen er sein Heer von Sieg zu Sieg führte, mit der Uniform der Garde du Corps, mit Waffenrock, Kürass und hohen Stiefeln bekleidet, und gegürtet ist er mit mächtigem Pallasch, auf dem die linke Hand ruht. Aber er ist auch mit dem Krönungsmantel angethan, und das unbedeckte Haupt schmückt die Lorbeer des siegreichen Feldherrn. So steht er da in eindrucksvoller Größe, Friedensfürst und starker Schirmherr seines Volkes zugleich, die ausgestreckte Rechte segnend und schützend über seine Lande erhoben. Wenn irgendwo, so hat diese Auffassung bei dem Bergdenkmale an der Westfälischen Pforte Berechtigung. Mag sie auch manchem der Mitlebenden, die den alten Kaiser von Angesicht zu Angesicht gesehen haben, nicht in den Sinn wollen, die künftigen Geschlechter, für die das Denkmal nicht in letzter Linie errichtet ist, werden der künstlerischen Freiheit, die mit höheren Gesichtspunkten zu rechnen und gerechnet hat, als mit der Rücksicht auf schlichte Bildnißmäßigkeit, die ungetheilte Anerkennung ganz gewiß nicht versagen. Hd.

## Die Küchenanlage im Reichstagshause in Berlin.

(Mit Abbildungen auf Blatt 45 und 46 im Atlas.)

(Alle Rechte vorbehalten.)

Eine geschlossene Gruppe hoher hallenartiger Räume ist im Erdgeschofs des Reichstagshauses dem Küchen- und Wirthschaftsbetriebe zugetheilt worden. Unmittelbar unter dem Haupt-Erfrischungssaale liegend, nimmt das Küchengelände die volle Länge dieses Raumes ein und reicht in der Tiefe von der Königsplatzfront des Hauses bis zum inneren südlichen Hofe hindurch. Noch in letzter Stunde, kurz vor dem Beginn der Ausbaurbeiten, wurde die Frage angeregt, ob nicht ein Theil dieser ausgedehnten Grundfläche zur Gewinnung eines neuen Berathungssaales abgezweigt werden solle; die Reichstags-Baucommission entschied sich aber dafür, die ursprüngliche Planbildung beizubehalten. Die Küche sollte nicht nur dem täglichen Wirthschaftsbedarfe dienen, sondern auch den gesteigerten Anforderungen genügen, wie sie bei großen Festlichkeiten auftreten. Unter diesen Gesichtspunkten sind die Einzeleinrichtungen für eine Lieferung von 500 Gedecken bemessen worden.

Die Raumfolge der Küchenanlage zeigt der Grundriß auf Blatt 45. Hinter dem Schenktisch des großen Erfrischungssaales führt neben dem Speisen- und Bieraufzuge die Küchentreppe zum Erdgeschofs hinab unmittelbar vor die Eingangsthür des Anrichterraumes, von dem aus durch einen großen verglasten Schalterverschlag (Blatt 46) der gesamte Betrieb der Kochküche frei zu überblicken ist. An dem Schalter werden die Speisen ausgegeben und entweder hier oder an der seitwärts anstossenden Controle durch Marken gezahlt oder für die Abrechnung vermerkt. Treppenhaus, Anrichterraum und Kochküche liegen an der Westfront des Hauses; nach dem Hofe hin reihen sich an die Kochküche der Vorrathsraum und der Spülraum an; dann folgt ein Raum für die Warenabnahme, mit Zugangsthür vom Hofe aus, durch den die Wareneinfuhr stattfindet; an diesen Raum endlich schließt sich der unmittelbar vom Treppenraume her beleuchtete Schrankraum. Das gebrauchte Geschirr wird, nachdem es in das Erdgeschofs hinabgeschafft ist, vom Aufzugsraum auf dem kurzen Wege durch den Schrankraum an den Schalter der Spülküche getragen und wandert von hier aus ge-

reinigt zu erneuter Benutzung in die Kochküche zurück; auf eine derartige einfache Geschirrbeförderung ohne Wegverlust wurde von dem Wirthe besonderes Gewicht gelegt.

Inmitten des Küchengeländes ist der Kassenraum (Controle) eingerichtet und daneben ein Wirthszimmer in bescheidenen Abmessungen als Ruheraum und Probirstübchen eingebaut (Text-Abb. 8 und 9). Der Wirth kann von diesen beiden zusammenhängenden Räumen aus nach allen Richtungen hin seine Aufsicht üben. Vom Kassenraum läßt sich der Betrieb in der Kochküche und die Entnahme der Speisen verfolgen; das Wirthsstübchen dagegen öffnet sich durch ein Schalterfenster nach der Hofseite, ist aber im übrigen gegen den Einblick von außen her durch die Butzenverglasung des abschließenden Verschlags geschützt. Ein heller, geräumiger Abort- und Waschräum für das Küchenpersonal ist neben dem Treppenraum eingerichtet und in einer Ausstattung durchgeführt, welche die peinlichste Reinhaltung ermöglicht. Unter den Küchenräumen und einem Theile des angrenzenden Hofes liegen, durch zwei Treppen zugänglich, die Wirthschafts-, Bier- und Weinkellereien; für den Hofkeller ist zum Einbringen großer Weinfässer eine mit schmiedeeisernen Fallthüren geschlossene Einsteigeluke von 1,30 : 1,30 m lichter Oeffnung angelegt.

Von den Einrichtungen in den einzelnen Räumen sei folgendes hervorgehoben:

**Treppen- und Aufzugsraum.** Die Aufzüge sind direct wirkende Stempelauzüge mit Druckwasserbetrieb; der Bieraufzug beginnt im Keller, der Speisenaufzug im Erdgeschofs, beide münden im großen Erfrischungssaale hinter dem Schenktisch. Die zulässige Belastung jedes Aufzuges beträgt 300 kg, die Größe der Aufzugsplatte beim Bieraufzug 80 : 90 cm; der Aufzugkasten ist beim Speisenaufzug 0,90 m lang, 0,82 m breit und 1,28 m hoch.

**Anrichterraum.** Der Ausgabetisch (Platte 4,20 m lang, rd. 1 m breit) ist durch Gas heizbar; in seinem Untertheil enthält er geräumige, durch Schiebethüren abgeschlossene Gefache

zum Geschirrwärmen; ein besonderer Tellerwärmer mit vier großen Abtheilungen ist an der gegenüberliegenden Wand aufgestellt. Durch diese Wärmapparate, außerdem durch Wärmeeinrichtungen am Büffet selbst ist dafür gesorgt, daß Speisen und Geschirr bis zur Verabfolgung heiß erhalten werden können. Zur Einführung von Wärmewagen, mit denen in neueren anspruchsvollen Gasthäusern die Speisen bis vor den Tisch gefahren werden, waren die immerhin einfacheren Verhältnisse in der Reichstags-Restaurations doch noch nicht angethan.

Die Kochküche. Den Mittelpunkt des Betriebes bildet der große freistehende Tafelherd (Blatt 45 Abb. 1 u. 3); die Kochplatte (1,23 : 4,50 m) ist in sieben Querfelder getheilt; das mittlere trägt ein größeres Bainmari, in die übrigen sind reihenweise Ringplatten eingefügt. Der stark eingezogene Unterbau des Herdes enthält große durchgehende Bratöfen und Wärmespinde. An der Rückwand der Küche ist eine Reihe kleinerer Back-, Brat- und Wärmapparate unter gemeinschaftlichem Dunstfang zu einer zusammenhängenden Gruppe vereinigt; von diesen Apparaten ist der Spielsbratofen auf Blatt 45 in Abb. 2, der Etagenbratofen, Rostbrat-(Grill-) und Backofen in Abb. 4 genauer dargestellt.

Der Tafelherd zur linken der Wandgruppe dient zum Aufsetzen größerer Gefäße und als Kaffeeherd, der Kesselherd an der Fensterseite ist vorzugsweise zum Kochen von Bouillon und Suppen bei großen Festmahlen bestimmt. Alle Apparate der

Kochküche werden, wie die des Anrichterraumes, einheitlich mit Gasfeuerung beheizt, und zwar die Platten und Kessel, welche scharfe Hitze verlangen, durch Ring- und Rundbrenner, die Back-,

Bratöfen und Wärmespinde durch Langbrenner. Die Langbrenner (Blatt 45 Abb. 2 und 4) sind aus schmiedeeisernen Röhren hergestellt mit eingebohrten Reihenöffnungen in bekannter Ausführung. Die in der Reichstagsküche angewandten Ring- und Rundbrenner sind in den Text-Abb. 3 und 4 veranschaulicht; vor der Mündung der Brenner mischt sich das ausströmende Gas mit hinzutretender Luft; die Form der wagrecht geführten Zunge *a* bewirkt eine

Steigerung des Luftzutritts in demselben Maße, wie sich durch stärkeres Aufdrehen des Hahnes die zuströmende Gasmenge vermehrt. Das Einstellen der Gasflammen von „klein“ bis „groß“ geschieht durch emaillierte, mit Aufschrift versehene Scheibenrädchen.

Die weitere Ausstattung der Kochküche besteht aus zwei großen mit Holz umrahmten Spülwannen aus Fayence (jede 0,56 m lang, 0,49 m breit und 0,34 m tief) mit Zufußhähnen für kaltes und heißes Wasser, einem Ausgußbecken aus Fayence mit Marmorummantelung und einer Reihe von Arbeitstischen mit 3,5 bis 5 cm starken Ahorn- oder Buchenplatten;

der Tisch neben dem Backherd ist für den Conditor bestimmt. In den tiefen Leibungen der Fenster und Gurtbögen werden die Kämpfer von Bordbrettern in dreifacher Reihe begleitet, die auf glatten verzinkten Eisenconsolen ruhen.



Abb. 1. Die Kochküche, vom Küchenschalter aus gesehen.

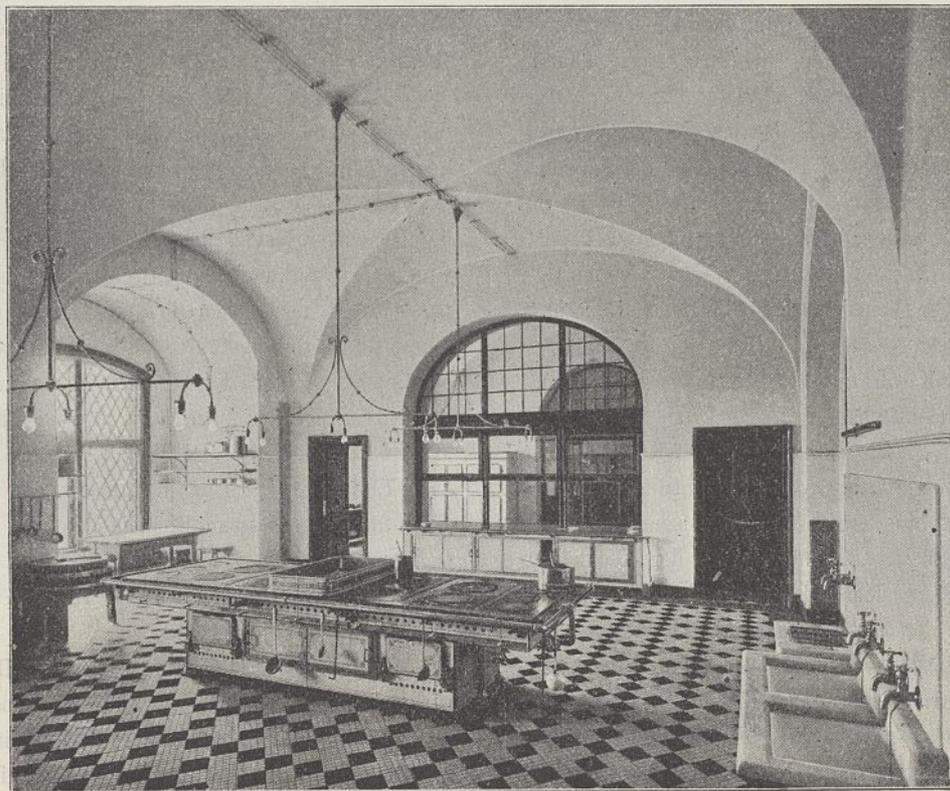


Abb. 2. Die Kochküche, Blick nach dem Küchenschalter.

Der Vorrathsraum ist gleichzeitig der Kaltraum der Küchenanlage. Den hellen Arbeitsplatz am Fenster benutzt der Conditior zum Anrichten des Backwarenteiges in kühler Temperatur; der Conditortisch mit einer Marmorplatte von 0,76 : 2,20 m enthält in seiner vollen Höhe Schubkästen für Mehl und Zuthaten. An der Wandseite folgen die Schränke für Vorkost und Victualien mit einem mittleren Aufbau für kleines Geschirr, daneben drei große offene Behälter (0,80 m lang, 0,60 m breit, 0,65 m hoch) für Kartoffeln und Gemüse. An der gegenüberliegenden Wand steht ein zweitheiliger tiefer Behälter für lebende Fische, aus Marmorplatten zusammengesetzt, mit Brauserohr und Ueberlauf, ein Ausguß, ein Speisenschrank und schließlichs als wichtigster Theil der Ausstattung dieses Raumes der große, sechstheilige, 4 m lange Eisschrank. Er besteht aus zwei gleichen Hälften, deren jede in drei aufrechte Felder getheilt ist; im

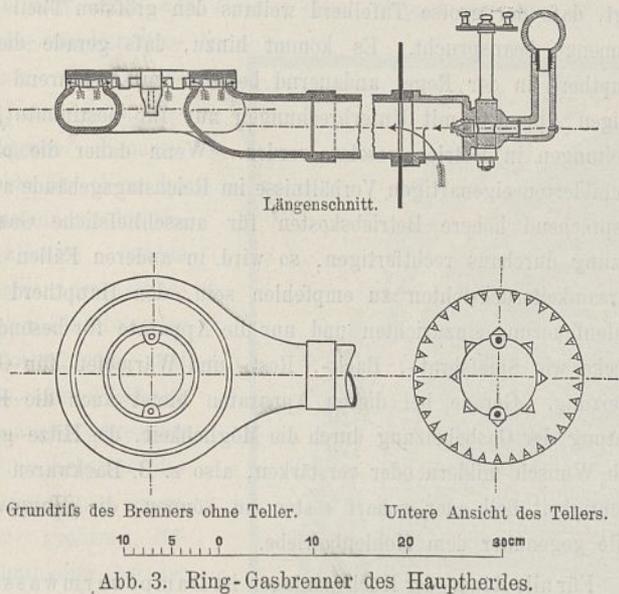


Abb. 3. Ring-Gasbrenner des Hauptherdes.

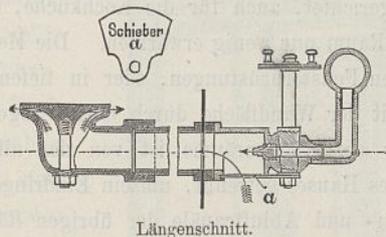


Abb. 4. Rund-Gasbrenner.

Mittelfelde ist durch einen Zwischenboden der Eiskasten abgetrennt, der von oben her mit Eis beschickt wird und gleichzeitig nach unten und nach beiden Seiten die Kühlung bewirkt; die einzelnen Fächer sind ganz mit Marmorplatten ausgekleidet und entweder mit verzinkten Haken zum Aufhängen ganzer Fleischseiten oder mit rostartigen Einlegeböden ausgestattet. Zur kühlen Aufbewahrung von Fleisch ist außerdem noch im Hofkeller ein gemauerter, mit Cement geputzter, entwässerter, offener Eiskasten mit drei 0,80 : 1,20 : 0,37 m großen Abtheilungen ausgeführt; das Fleisch wird unmittelbar über der Eisfüllung auf untergebreiteten Leinentüchern gelagert.

Der Spülraum. Die Hauptwand wird von den beiden Spültischen eingenommen, von denen der eine für Porcellan und Glas, der andere für Kupfer bestimmt ist. Die Spültische sind aus Holz gefertigt, die Spülfächer mit starkem verzinnem Kupferblech ausgefüllt.\*) Zu den Platten der Abtropftische ist Wellblech

\*) Da die Holzverkleidungen der Einwirkung des überlaufenden heißen Spülwassers auf die Dauer nicht standhalten, so verdient an

verwandt. Am Fenster ist für das Fischschlachten ein Tisch mit Marmorplatte und anschließendem Ausguß aufgestellt, an der gegenüberliegenden Seite eine zweitheilige Marmorgrunde und der Tisch zum Waschen und Putzen von Gemüse.

Die Vorrichtungen zur Beschaffung heißen Spülwassers sind jenseits der Warenabnahme in einer freien Ecke des zum Schluß noch zu betrachtenden Schrankraumes untergebracht. Die Wassererwärmung erfolgt hier für gewöhnlich durch Dampf, der von den Kesseln der Centralheizung geliefert wird; daneben aber ist für die wärmere Jahreszeit, in der die Centralheizung

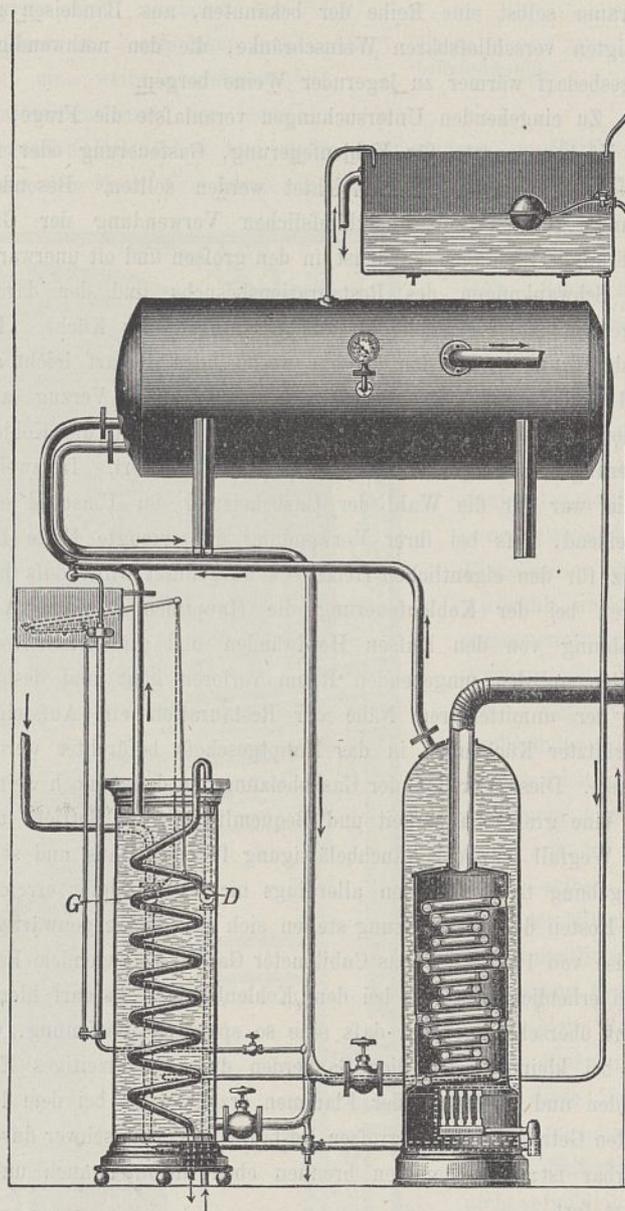


Abb. 5. Heißwasserbereitung durch Dampf und Gas.

aufser Betrieb gesetzt wird, ein Gasofen aufgestellt. Die Vereinigung des Dampfwasserofens und des Gasofens zur Speisung desselben Warmwasserbehälters (750 l) zeigt Abb. 5.\*) Der Dampfwarmwasserofen enthält eine einfache Dampfröhre, der Gasapparat einen in den Wasserkessel eingebauten Gasofen mit zahlreichen offenen Querrohren; ein Wärmeregler bewirkt die selbstthätige Einstellung des Drosselventils *D* bei Dampfbetrieb oder nach entsprechender Umschaltung bei Gasbenutzung die Regelung des Hahnes *G*.

deren Stelle eine neuere Spültischconstruction empfohlen zu werden, bei der die als Halbcylinder hergestellten Wannen frei in gebogenen Eisengestellen ruhen.

\*) Vergl. „Ausgeführte Heizungs- und Lüftungsanlagen“ von David Grove, S. 54. Berlin 1895.

Die geschlossene Wand des Schrankraumes ist in ihrer ganzen Länge von rund 10 m durch etwa 2,50 m hohes Schrankwerk für Tischwäsche, Gläser, Geschirr, Tafelgeräth und Bestecke besetzt. Vor den Schränken stehen zwei 2,50 m lange Tische zum Ablegen und zum Putzen von Glas und Metall. Im übrigen wird der Schrankraum zugleich als Speisezimmer für die Kellner benutzt, da besondere Gelasse für diesen Zweck nicht zu gewinnen waren.

Ein Glasverschlag trennt den Schrankraum von dem Keller-vorraum ab; zur Seite des Glasverschlages steht ein dreitheiliger Eisschrank für den täglichen Weißweinbedarf, im Keller-vorraum selbst eine Reihe der bekannten, aus Bandeisen gefertigten verschließbaren Weinschränke, die den nothwendigen Tagesbedarf wärmer zu lagernder Weine bergen.

Zu eingehenden Untersuchungen veranlafte die Frage, ob die Küchenapparate für Kohlenfeuerung, Gasfeuerung oder für beide Beheizungsarten eingerichtet werden sollten. Besondere Gründe führten zur ausschließlichen Verwendung der Gasfeuerung. Sie lagen zunächst in den großen und oft unerwarteten Schwankungen des Restaurationsbesuchs und der daraus folgenden Anforderungen an die Leistungen der Küche. Die Gasbeheizung paßt sich diesem wechselnden Bedarf leicht an, weil der Betrieb der einzelnen Apparate ohne Verzug aufgenommen oder eingestellt werden kann, während die Kohlenfeuerung ein langes vorheriges Anheizen erfordert. In zweiter Linie war für die Wahl der Gasbeheizung der Umstand entscheidend, daß bei ihrer Verwendung die erzeugte Hitze fast ganz für den eigentlichen Heizzweck ausgenutzt wird, daß hingegen bei der Kohlenfeuerung die Hauptmenge durch Ausstrahlung von den heißen Herdwänden und glühenden Kochplatten an den umgebenden Raum verloren geht und deshalb bei der unmittelbaren Nähe der Restauration ein Aufsteigen überhitzter Küchenluft in das Hauptgeschloß befürchtet werden mußte. Diese Vorzüge der Gasbeheizung, zu denen noch weiterhin eine große Sauberkeit und Bequemlichkeit im Betriebe und der Wegfall jedweder Rauchbelästigung für das Haus und seine Umgebung treten, werden allerdings nicht ohne Opfer erreicht; die Kosten der Gasbeheizung stellen sich bei dem gegenwärtigen Preise von 10 Pf. für das Cubikmeter Gas in vorliegendem Falle doch erheblich höher als bei dem Kohlenbetrieb. Es darf hierbei nicht übersehen werden, daß eine so sparsame Bedienung, wie sie bei kleineren Familien-Gasherden durch rechtzeitiges Entzünden und Ausdrehen der Flammen erzielt wird, bei dem lebhaften Getriebe in einer großen Restaurationsküche schwer durchführbar ist; die Flammen brennen eben mitunter auch unbe-nutzt fort.

Nach den angestellten Messungen verbrauchen die Apparate der Küche und des Anrichterraumes bei kleiner Brennerstellung insgesamt 17,5 cbm Gas oder 1,75 *M* in der Stunde, bei großer Brennerstellung ungefähr das doppelte, also 35 cbm oder 3,50 *M*, und zwar entfallen bei großer Brennerstellung auf:

1. Tafelherd (Nr. 7 auf Blatt 45)	rd. 12,2 cbm	1,22 <i>M</i>
2. Herd für große Gefäße (Nr. 8)	„ 4,8 „	0,48 „
3. Wärmeschrank (Nr. 9)	„ 0,8 „	0,08 „
4. Spießbratofen (Nr. 10)	„ 3,8 „	0,38 „
5. Etagenbratofen (Nr. 11)	„ 4,2 „	0,42 „
6. Rostbrat- und Backofen (Nr. 12)	„ 2,2 „	0,22 „
7. Kesselherd (Nr. 13)	„ 3,0 „	0,30 „
8. Tellerwärmeschrank (Nr. 4)	„ 1,6 „	0,16 „
9. Ausgabetisch (Nr. 6)	„ 2,4 „	0,24 „

zusammen rd. 35,0 cbm 3,50 *M*

Verbrauch für die Stunde bei gleichzeitigem Betrieb sämtlicher Apparate.

Wird der Gasverbrauch jedes einzelnen Apparates gemessen, ohne daß die übrigen brennen, so ergibt sich wegen der stärkeren Gaszuströmung ein um ungefähr 50 v. H. höherer Verbrauch. Die Einschaltung von Reducirventilen ist vorläufig nicht ausgeführt worden, weil bei den vorhandenen Constructionen eine sichere Wirkung nicht verbürgt werden konnte. Bei vollem Küchenbetriebe während der Reichstagssitzungen ist der tägliche Gasverbrauch auf durchschnittlich 14 *M* festgestellt worden; mitberücksichtigt ist hierbei die zeitweise Benutzung der Wärme-einrichtung am Buffet und des Lockfeuers im Keller. Demgegenüber wird der Kohlenverbrauch bei ähnlich großem Küchenbetriebe nur auf 7 bis 10 *M* für den Tag geschätzt.

Die Zusammenstellung des Verbrauchs der einzelnen Apparate zeigt, daß der große Tafelherd weitaus den größten Theil der Gasmenge beansprucht. Es kommt hinzu, daß gerade dieser Hauptherd in der Regel andauernd benutzt wird, während die übrigen Apparate mit Unterbrechungen nur für bestimmte Zubereitungen in Betrieb gesetzt werden. Wenn daher die oben geschilderten eigenartigen Verhältnisse im Reichstagsgebäude auch entsprechend höhere Betriebskosten für ausschließliche Gasbe-nutzung durchaus rechtfertigen, so wird in anderen Fällen aus Sparsamkeitsrücksichten zu empfehlen sein, den Hauptherd für Kohlenfeuerung einzurichten und nur die Apparate für besondere Zwecke wie Spießbrat-, Back-, Rost- und Wärmöfen für Gasbeheizung. Gerade bei diesen Apparaten bietet auch die Einrichtung der Gasbeheizung durch die Möglichkeit, die Hitze ganz nach Wunsch mildern oder verstärken, also z. B. Backwaren mit Leichtigkeit hell oder scharf rösten zu können, die Hauptvortheile gegenüber dem Kohlenbetriebe.

Für alle Räume der Küchenanlagen ist Dampf-warmwasser-heizung eingerichtet, auch für die Kochküche, da ja die Gasapparate den Raum nur wenig erwärmen. Die Heizkörper liegen entweder in den Fensterbrüstungen, oder in tiefen Mauernischen, die bündig mit der Wandfläche durch Gitter abgeschlossen sind. Die Lüftung der Küchenräume ist von der allgemeinen Lüftungsanlage des Hauses getrennt, um ein Eindringen der Küchenluft in die Zu- und Abluftcanäle der übrigen Räume sicher zu verhüten. Die Luftabführung erfolgt durch Wasser-Ventilatoren, deren Verbrauchswasser noch zu Spülzwecken benutzt wird. Die Abgase der freistehenden Herde werden durch Canäle an der Kellerdecke, die der übrigen Apparate durch Wandcanäle in einen gemeinsamen Lüftungsschacht geleitet, der vom Keller aus durch einen Gaslockofen heizbar ist (Blatt 46). Die Wirkung der Küchenlüftung war im Anfang nicht ganz zufriedenstellend; es machte sich der Speisengeruch in dem über der Küche liegenden Gebiete des Hauptgeschosses hin und wieder störend bemerklich, und es wurde daher geplant, durch kräftige elektrische Ventilatoren, die in den Küchenfenstern eingesetzt werden sollten, einen noch stärkeren Unterdruck, also auf der Treppenverbindung zwischen Küche und Restauration eine entschiedene Luftbewegung nach der Küche hin zu schaffen. Die anfangs beobachteten Uebelstände aber haben sich — beinahe gegen Erwarten — in einfachster Weise beseitigen lassen, und zwar nur durch Vorrichtungen, die ein besseres Zuhalten der Schalterfenster und Verbindungsthüren erzwingen; als wirksames Mittel erwies sich vor allem die Einführung getrennter Zugänge in der Abschlußwand zwischen Anrichterraum und Treppenhaus (Bl. 45).

Die Leitungen für heisses Wasser sind aus polirten Kupferrohren hergestellt, die frei auf der Wand zu den Verbrauchsstellen führen. Die Verzweigung der Leitungen für Heiss- und Kaltwasser zu den Abflահähnen liegen hinter grossen Marmorplatten, die nur mit Bronceschrauben vor der Wand befestigt sind; das Rohrwesen läst sich bei dieser Anordnung leicht freilegen. Koch- und Spülkuche haben Bodenentwässerungen. Die Fettfänge sind im Keller untergebracht.

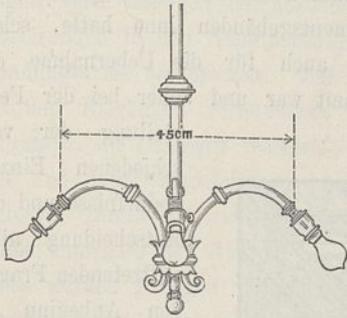


Abb. 6. Küchenkrone für 4 Glühlampen.

Die Abendbeleuchtung der Küchenräume erfolgt durch Glühlicht, über den Herden durch Doppelarme, im Schrank-, Spül- und Vorrathsräum durch einfachste schmiedeeiserne Kronen (Abb. 6). Von der Anwendung des Bogenlichtes mußte wegen des schädlichen Einflusses der Kuchendünste auf das innere Werk der Lampen, wegen der tiefen Schatten des Lichtes, und wegen der grossen Beschränkung bei der Vertheilung und Bedienung der Lampen abgesehen werden.

Bei allen Theilen der baulichen Ausstattung sind, soweit es erreichbar war, wasserfeste abwaschbare Oberflächen und lichte Farbentöne angewandt worden. Die Fußböden sind mit Mettlacher Fliesen in weissem und violettem Muster belegt; die Fliesen haben breite, aber ganz flache, nur 1 mm einspringende Riefelungen

(Abb. 7). Die Wände sind auf rd. 2,10 m Höhe mit glasirten Wandfliesen, die Rückwände der Spüleinrichtungen mit Marmorplatten, alle Herdwandungen und Ofenthüren mit hell emailirten Eisenplatten

bekleidet. Das Holzwerk ist mit einer Glaspolitur überzogen, die gegen Feuchtigkeit, Säuren und Alkalien in überraschender Weise stand hält und nach zweijähriger Dauer kaum eine Veränderung erkennen läst. (Das Herstellungsverfahren ist im Alleinbesitz der Firma J. C. Pfaff.) Die eisernen Thüren vor den Nischen der Heizkörper sind verzinkt. Anstriche sind möglichst vermieden; sie beschränken sich auf eine weis abgestimmte Kalkfarbentönung der hochliegenden Putzflächen und einige Ausmalungen im Wirthsstübchen vom Maler Karl Lange, Berlin. Wenn sich auch sonst bei

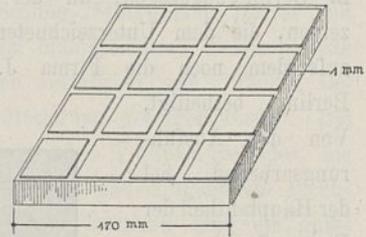


Abb. 7. Fliese für die Wirthschaftsräume.

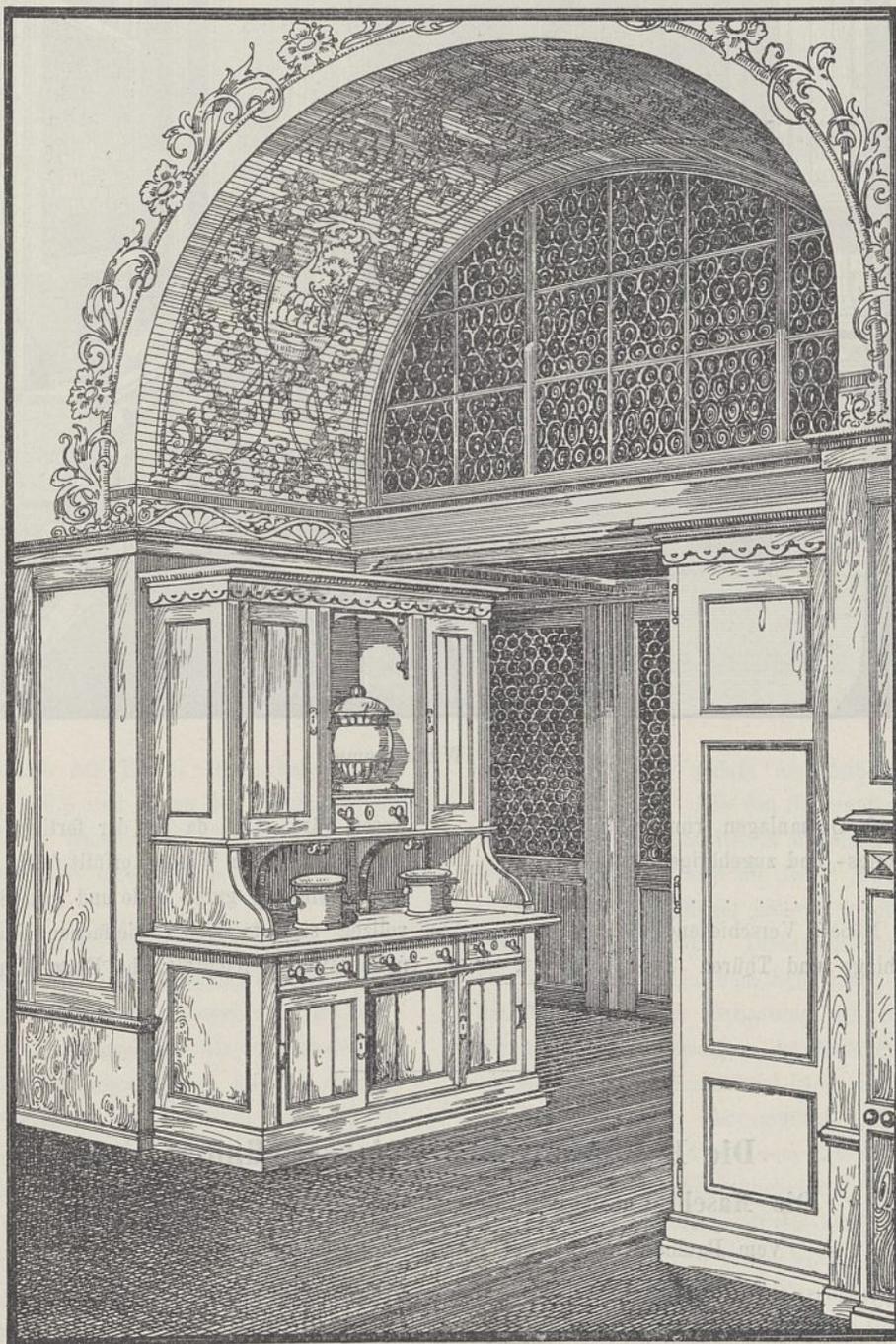


Abb. 8. Eingang zum Wirthszimmer.

dem rein praktischen Zweck der Anlage jeder Schmuckaufwand von selbst verbot, so fand sich doch Gelegenheit genug, bei der Anordnung und Ausbildung aller, auch der nebensächlichen Einzelheiten, bei der Auswahl und Zusammenstellung der Ausbaustoffe, durch die Verwerthung wechselnder glatter oder verbleiter Verglasungen und anderer aus der Aufgabe selbst sich bietender Mittel auf eine einheitliche und freundliche Erscheinung der Raumbilder hinzuwirken. Dafs diese Bestrebungen auch bei einfachen Nutzräumen nicht vergeblich sind und dazu beitragen, die Freude am Hause zu vermehren, dafür sprechen die häufigen Küchenbesuche der Abgeordneten, wenn sie ihre Gäste durch das Haus geleiten.

Bewährte Sachverständige auf dem Gebiete des Küchen-

wesens haben bei den Vorarbeiten und der Ausführung der Einrichtungen mitgewirkt. Zur Aufstellung des grundlegenden Ent-

wurfs für die Anordnung der Räume und die Vertheilung der Apparate hatte Geheimrath Wallot die Firma Senking in Hildesheim, den Ingenieur David Grove und den Restaurateur Dressel in Berlin zugezogen; an der weiteren Einrichtung im einzelnen, die dem Unterzeichneten übertragen war, haben sich außerdem noch die Firma J. C. Pfaff und A. Bertuch in Berlin betheiligt.

Von den Ausführungsarbeiten fiel der Haupttheil der Firma Senking zu, die nach ihren besonderen Entwürfen sämtliche Herde, Brat-, Back-, Warmapparate lieferte. David Grove übernahm die Ausstattung der Küchenräume mit den Wasserleitungsanlagen, Fischbehältern, Wassergränden und Eisschrank sowie der Warmwasserbereitung mit Spüleinrichtungen. J. C. Pfaff bearbeitete und fertigte sämtliche Holzausstattungen, Verschlüsse, das Schrankwerk und die Möbel. A. Bertuch lieferte Sondereinrichtungen und Küchengeschirr. Die Gesamtkosten der Kücheneinrichtung — ohne den eigentlichen baulichen Theil — betragen

1. für die Herd- und Ofenanlagen rund	15 500 M
2. für die Wasserleitungs- und zugehörigen Arbeiten . . . . .	11 000 „
3. für Schrankwerk, Möbel, Verschiedenes — ohne Verschlüsse und Thüren . . . . .	7 500 „
	<hr/>
	34 000 M

Von vorteilhaftem Einfluß auf den Gang und die Ergebnisse der Ausführung war es, daß der bekannte Reichstagswirth Friedrich Schulze, der seit Jahren die Küchenbewirtschaftung in den drei Berliner Parlamentsgebäuden inne hatte, schon während der Bauausführung auch für die Uebernahme der neuen Reichstagsküche bestimmt war und daher bei der Fest-

stellung der verschiedenen Einzelbedürfnisse und der Entscheidung aller auftretenden Fragen von Anbeginn ab mitwirkte. Die Besprechungen wurden an der Hand eines Küchenmodells aus Holz im Maßstab 1:50 geführt, in dem alle Koch-Apparate, Möbel, Schränke genau dargestellt waren und nach Belieben umgesetzt oder entfernt werden konnten. Auch das Aufsichtspersonal und die Küchenchefs — deren Anschauungen ja sehr ins Gewicht fallen — lebten sich hierbei gern und mühelos in die neuen Räume und Verhältnisse ein und konnten ihre Ansichten sicherer zum Ausdruck bringen, als dies je unter Benutzung von Zeichnungen möglich gewesen wäre.

Und da bei der fertigen Anlage jeder seinen früh genug geäußerten Wunsch erfüllt fand, so herrschte bei der Uebernahme allseitig guter Wille und gute Stimmung, und der Betrieb vollzog sich trotz der vielfachen Neuerungen glatt und ohne nennenswerthe nachträgliche Einwendungen.

P. Wittig.

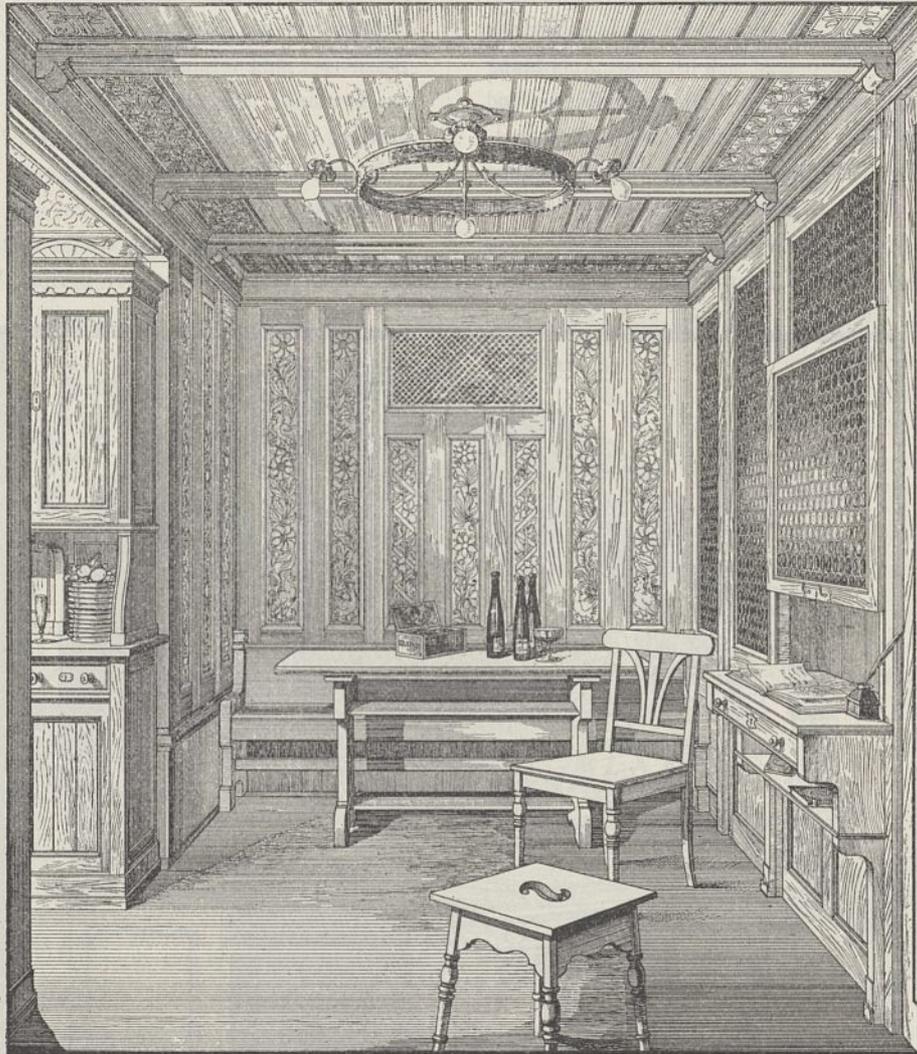


Abb. 9. Wirthszimmer.

## Die Regulirung der Weichselmündung.

### Die Maschinenanlagen der Schiffsschleuse bei Einlage.

Vom Bauinspector Albert Rudolph in Münster in Westfalen.

(Mit Abbildungen auf Blatt 47 bis 49 im Atlas.)

(Alle Rechte vorbehalten.)

Im Anschluß an die Mittheilungen des Regierungs- und Bauraths K. Müller über die Regulirung der Weichselmündung in den Nummern 13<sup>A</sup> und 34<sup>A</sup> Jahrgang 1895 des Centralblattes der Bauverwaltung folgt nachstehend die daselbst in

Aussicht gestellte besondere Beschreibung der Maschinenanlagen der Schiffsschleuse bei Einlage. Aus den erwähnten Mittheilungen mögen hier zunächst einige Angaben zur Erläuterung des Zweckes der ausgeführten Schleusenanlagen wiederholt werden.

Die Veranlassung zu den umfangreichen Regulirungsbauten an der Weichselmündung gaben die infolge von Eisversetzungen eingetretenen häufigen Deichbrüche und die damit verbundenen Zerstörungen in den fruchtbaren Niederungen der verschiedenen Mündungsarme des Stromes. Zur möglichsten Vermeidung dieser mit den Eisgängen verbundenen Gefahren ist der Hauptmündungsarm, die Danziger Weichsel, in seinem unteren Theile verlegt und dabei zugleich um 10 km abgekürzt worden (Text-Abb. 1). Durch den hochwasserfreien Abschluss des alten Stromlaufes unterhalb der Abzweigung des neu hergestellten Durchstichs wurden Anlagen nothwendig, welche die Verbindung des letzteren mit dem nunmehr todtgelegten Theile der Danziger Weichsel und dadurch mit der Stadt Danzig für die Schifffahrt wieder herstellten. Dabei wurde für zweckmäsig erachtet, für die Schiffe und Flöße besondere Canäle anzulegen, sodafs der Schiffsverkehr durch die Flöße nicht behindert wird. Die all-

gemeine Anordnung dieser Schifffahrtsanlagen zeigt der Lageplan (Text-Abb. 2). Die Schiffsschleuse Abb. 1 Bl. 47 u. 48 hat drei Thorpaare, von denen das eine *T* als Schutzthor nur bei Eisgang und Hochwasser geschlossen wird, während die beiden anderen *T*<sub>1</sub> und *T*<sub>2</sub> als Betriebsthore dienen. Ueber das

Oberhauptführt eine Drehbrücke. Der Betrieb der Thore, Drehbrücke, Dreh-schützen in den Umläufen, Spille und ferner der Drehbrücke auf der Flossschleuse erfolgt durch Wasser von 50,0 kg/qcm Spannung. Das Druckwasser wird in einem besonderen Maschinen-hause erzeugt.

Das Schutzthor (Abb. 9 Bl. 49) ist dazu bestimmt, von der Schiffsschleuse und damit von dem todtgelegten Theile der Danziger Weichsel Eis und Hochwasser abzuwehren. Es muß daher ebenso etwa andrängenden Eismassen, wie dem erheblichen Wasserdruck mit Sicherheit widerstehen können und ist dementsprechend kräftig ausgeführt worden. Zur Entlastung der Zapfen ist es als Schwimmthor mit gerader Hinter- und schwachgekrümmter Vorderwand ganz aus Flusseisen hergestellt. Die Hinterwand ist nicht nur bis über Unterwasser geführt, sondern zur Erhöhung der Festigkeit des ganzen Thores bis zum obersten Riegel fortgesetzt worden. Jeder Thorflügel besteht aus der senkrechten Wende- und Schlagsäule und den wagerechten, in Abständen von 700 bis 935 mm dazwischen gesetzten Riegeln, die durch zwei eingebaute Schotte abgesteift und unter sich verbunden sind. Die beiderseitige Blechbekleidung ist in jedem so gebildeten Felde noch durch ein *T*-Eisen gestützt. Die Bleche

gehen ohne Stofs über die ganze Breite des Thores und sind über den Riegeln durch Laschen überdeckt. Sollte die Wasserdichtigkeit der Thore sicher erreicht werden können, so durften die Befestigungsschrauben der Schuhe, Stützwinkel, Hölzer und dergleichen nicht in den Luftraum hineinreichen. Ferner mußte das gute Verstemmen der Fugen ausführbar sein. Beiden Bedingungen ist nach Möglichkeit Rechnung getragen worden. Die Wendesäule ist aus zwei durchgehenden *C*-Eisen gebildet, die durch zwischengesetzte kurze *C*-Eisen und aufgenietete Blechplatten ausgesteift sind. Auf diesen letzteren sind die gußstählernen Stützwinkel befestigt. In dem einen senkrechten *C*-Eisen sitzt das die Abdichtung bildende Holz. Ganz ähnlich der Wendesäule ist der zur Aufnahme des unteren Anschlagholzes bestimmte Rahmen ebenfalls aus *C*-Eisen hergestellt. Die Schlagsäule wird durch einen mit Anschlagholz versehenen Blechträger gebildet. Auf das Stehblech desselben sind zwei kleine

*L*-Eisen aufgenietet, zwischen welche die länglichen Köpfe der Schrauben zur Befestigung des Anschlagholzes greifen.

Die Thorschuhe (Abb. 6 u. 7 Bl. 47 u. 48) sind sehr kräftig gehalten. Die Zapfen sind aus Stahl, und zwar ist der Kopf des Spurzapfens sowie die in den unteren Schuh eingesetzte La-

gerplatte gehärtet, sodafs die Reibung und Abnutzung möglichst gering wird. Die den Spurzapfen tragende geviertförmige Platte ist in den Granitstein eingelassen und vergossen. Ankerschrauben befinden sich an dieser Platte nicht.

In jedem Thorflügel ist ein Schütz mit 0,5 qm nutzbarem Querschnitte eingebaut. Diese Schützen dienen nur zum Füllen des Raumes zwischen dem Schutzthor *T* und dem oberen Betriebsthor *T*<sub>1</sub> behufs Entlastung des ersteren vor dem Oeffnen. Die geringen Abmessungen der Schützen sind dafür vollkommen ausreichend. Die Schütztafel hängt an zwei Stangen, die mittels Stopfbüchsen in das Thor geführt und daselbst durch ein Querstück verbunden sind, an dem das Aufzuggestänge befestigt ist. An diesem ist das Schraubenge triebe mit Vorgelege im obersten Riegelfelde angebracht. Mittels Stechschlüssels kann das Schütz bewegt werden. Dem Schiebeschütz ist hier gegenüber dem Dreh- oder Klappschütz der Vorzug gegeben worden, da letztere leicht durch Eisstücke festgeklemmt und an der Bewegung gehindert werden können. Wegen der seltenen Benutzung des Schützes fällt die langsamere und schwerere Bewegung nicht ins Gewicht. Eine gleichfalls durch Stechschlüssel von oben bewegte Lenzpumpe dient zum Entleeren des Innenraumes. Durch

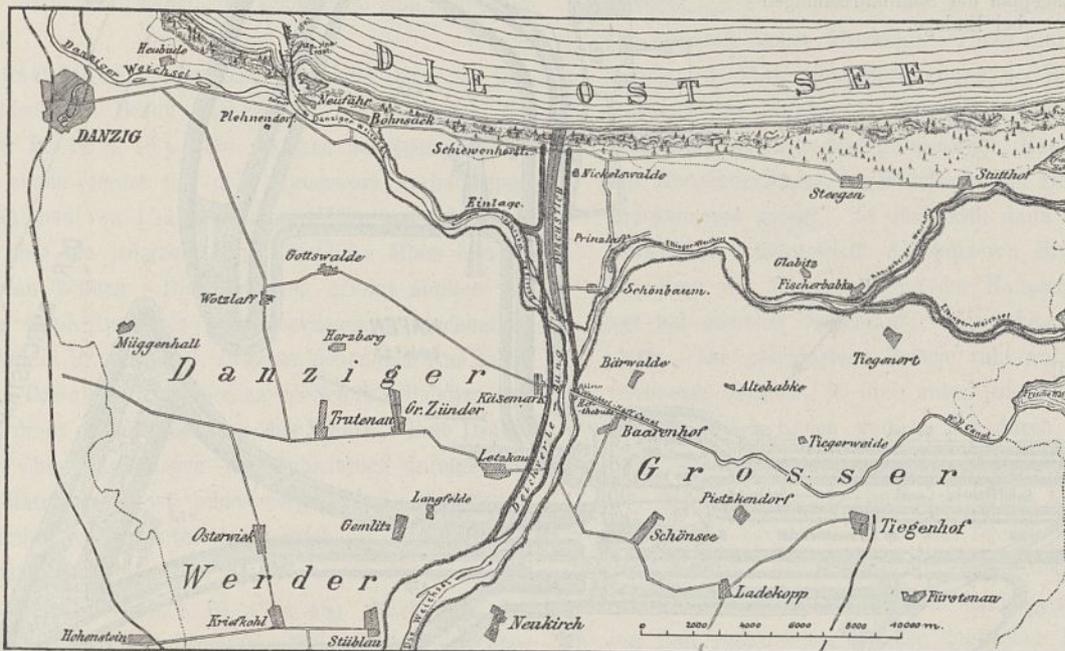
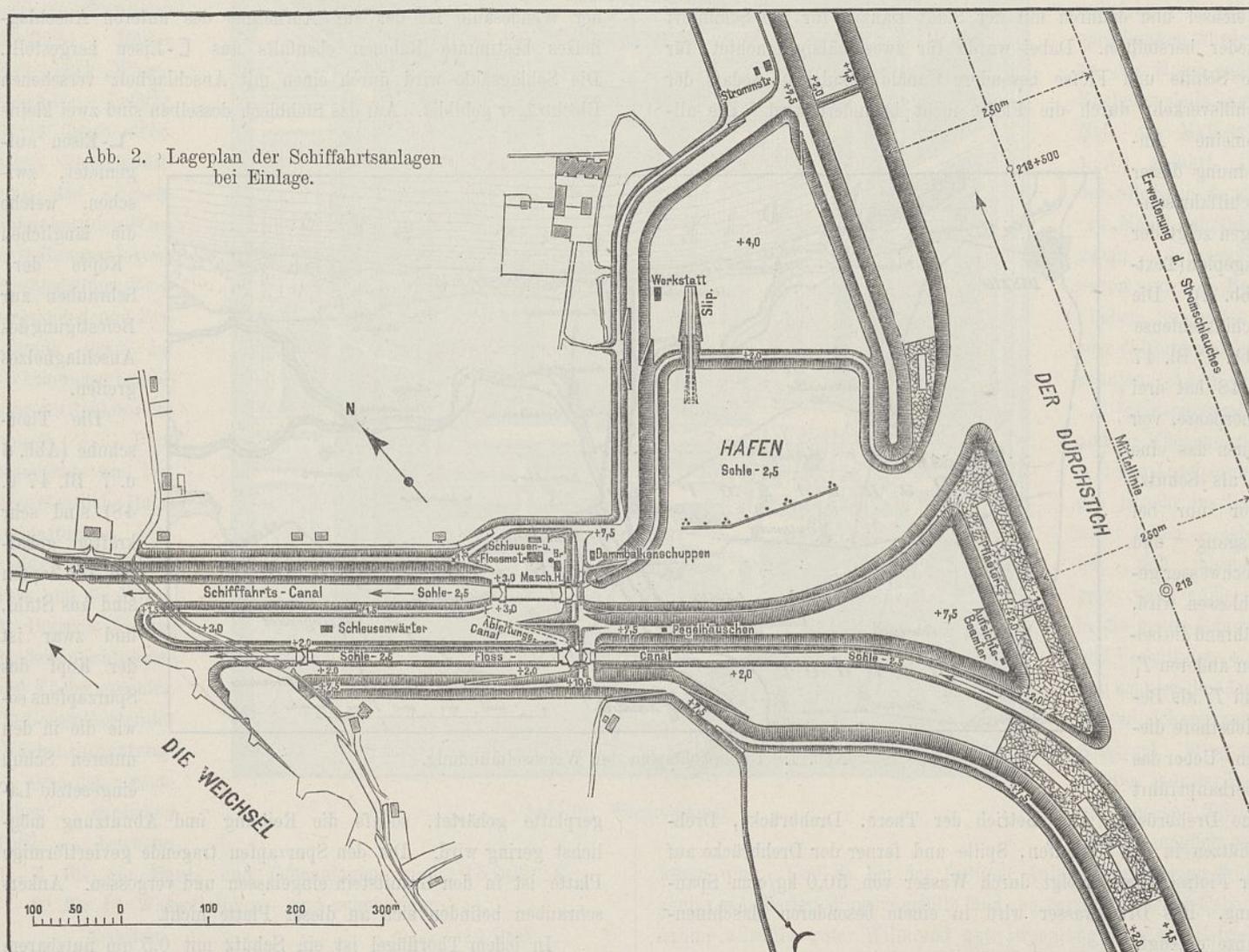


Abb. 1. Uebersichtsplan der Weichselmündung.

Mannlöcher in den Querriegeln und Schotten sind alle Räume zugänglich gemacht. An jeder Seite des oberen Riegels befindet sich ein eiserner Ring; an diesen Ringen werden Seile befestigt, mittels welcher die Thorflügel unter Benutzung der Druckwasserspille  $S_1$  und  $S_2$  (Abb. 1 Bl. 47 u. 48) geöffnet und geschlossen werden. Für diesen Zweck sind noch zwei Seilrollen  $A_1$  und  $A_2$  vorgesehen. Für den rechten Thorflügel zeigt  $C_1$  die Lage des Seiles beim Öffnen und  $C$  beim Schließen. Das Halseisen (Abb. 7 Bl. 47 u. 48) besteht aus Gußstahl und ist mit dem gußeisernen Halseisenträger durch Schraubenbolzen und eingelegte Stahlkeile verbunden. Der Halseisenträger wird durch zwei

an Stelle der nicht für Handbetrieb eingerichteten Umlaufschützen verwandt werden. Wasserverluste infolge von Undichtigkeiten der Schützen sind hier ohne Bedeutung. Ferner ist das Schleusengefälle während des Betriebes meist sehr gering, sodass die hölzernen Rahmen der sehr selten gebrauchten Thorschützen nur wenig angegriffen werden und infolge dessen hier mit Vortheil verwandt werden konnten. Die Schützstangen sind mit Eisenrohren umgeben, die in den Endriegeln des Luftkastens abgedichtet sind, sodass dieser gegen das Eindringen von Wasser völlig gesichert ist. Der Luftkasten reicht nur bis zur halben Thorhöhe, d. h. bis etwas über den normalen Unter-



kleinere, senkrecht in den Wendenischen-Quader eingelassene und durch drei große, schrägliegende Radialanker gehalten. Die letzteren haben gußeiserne Platten und sind durch ein Schraubenschloß stellbar.

Die Schleusenthore (Abb. 10 Bl. 49) sind unter Berücksichtigung der geringeren Höhe und Beanspruchung nach den beim Schutzhor angegebenen Grundsätzen gebaut. Für die Thorschuhe, Stützwinkel, Stützplatten, Halseisen und Halseisenbefestigungen sind zur Ersparung von Modell- und Bearbeitungskosten dieselben Formen und Abmessungen wie beim Schutzhor beibehalten worden. Beim Versagen der Druckwasseranlage soll das Schleusen mit der Hand erfolgen. Zu dem Zwecke sind in jedem Thorflügel je zwei Drehschützen aus Gußeisen in Holzrahmen von zusammen 1,25 qm nutzbarem Querschnitt eingebaut, die durch einen Handhebel gemeinsam bewegt und

wasserspiegel, da die Höherführung der Hinterwand wie beim Schutzhor aus Festigkeitsgründen hier nicht erforderlich ist. Durch die Schützrahmen wird der zwischen den beiden unteren Querriegeln liegende Raum in zwei Theile zerlegt. Ein im unteren Rahmen gut geschützt liegendes Verbindungsrohr ermöglicht das Auspumpen beider Theile mit einer Lenzpumpe. Die aus  $\square$ -Eisen gebildete, mit runden Triebstöcken und einer Laufrolle versehene Zahnstange greift am dritten Riegel von oben an, sodass sie bei den vorkommenden Stauverhältnissen nur selten unter Wasser liegt. Die Beanspruchung des Thores, das durch die starken Wasserdruckkolben gegen einen Stau von 16 cm geöffnet werden kann, ist dabei nicht übermäßig ungünstig. Die Rolle der Zahnstange läuft auf einer entsprechend gebogenen Schiene in einem überwölbten Raum (Abb. 1 Bl. 47 u. 48). Es hat sich während des Betriebes als zweck-

mäßig erwiesen, die anfangs nur um eine wagerechte Achse drehbare Rolle so einzurichten, daß sie sich auch um einen senkrechten Zapfen drehen kann (Abb. 16 Bl. 49). Die Rollachse ist dabei in einer Schleife in wagerechter Richtung etwas verschiebbar. Die Rolle erhält infolge dessen für beide Bewegungsrichtungen das Bestreben, sich an jeder Stelle in die Richtung der Laufschiene einzustellen, und folgt, ohne auf dieser gleiten zu müssen, ihrer ziemlich stark gekrümmten Bahn. Seitliche Arme verhindern das Querstellen der Rolle, lassen jedoch die für die richtige Einstellung erforderliche Drehung zu. Die Bewegung der einzelnen Schleusenthorflügel wird durch das Druckwasser vermöge zweier sich gegenüberliegenden Tauchkolben von 180 bzw. 150 mm Durchm. bewirkt (Abb. 2 Bl. 47 u. 48). Zwischen den beiden Kolben befindet sich eine gußstählerne Zahnstange, die mittels Zahnradübertragung die Thorzahnstange in Bewegung setzt. Diese wird durch eine Druckrolle *W* in dauerndem Eingriff mit dem zugehörigen Zahnrad erhalten. Der stärkere Kolben dient zum Öffnen, der schwächere zum Schließen des Thorflügels.

Die Drehschützen in den Umläufen sind denen an der Mühlendammshleuse in Berlin nachgebildet (vgl. Zeitschr. für Bauwesen 1896 Bl. 10 u. 11). Sie bestehen aus Schmiedeeisen und sitzen in einem derart mit dem Mauerwerk verbundenen, mehrtheiligen Rahmen von 1545 mm lichter Höhe und 1225 mm lichter Weite, daß sie jederzeit ohne erhebliche Mühe herausgenommen werden können. Die Bewegung erfolgt ähnlich wie bei den Thoren durch zwei sich gegenüberliegende Tauchkolben aus Rothguß (Abb. 2 Bl. 47 u. 48), zwischen denen sich eine Zahnstange befindet. Diese greift in einen an der Schützwelle sitzenden Zahnbogen und dreht mittels desselben das Schütz. Eine Druckrolle verhindert das Durchbiegen der Zahnstange infolge des Zahndruckes. Handbetrieb ist nicht vorgesehen. Als Ersatz für die Umlaufschützen treten bei Handbetrieb die in den Thoren sitzenden Schützen ein.

Die Drehbrücke (Abb. 1 Bl. 47 u. 48). Nach Lage der Verhältnisse war ein ziemlich lebhafter Wagenverkehr auf den Schleusenbrücken zu erwarten. Mit Rücksicht auf die Schifffahrt mußten die Brücken beweglich ausgeführt werden. Eine vergleichende Betrachtung ließ eine Drehbrücke am geeignetsten erscheinen, zu deren Bewegung naturgemäß auch die vorhandene Druckwasseranlage verwandt wurde. Die Brücke sollte nur für leichtes Fuhrwerk, mit 1,9 m Fahrbahn und auf jeder Seite mit einem 0,8 m breiten Fußgängersteg hergestellt werden. Indessen ergab die Berechnung für das Freitragen des Eigengewichts beim Drehen so erhebliche Abmessungen der einzelnen Theile, daß eine ganz geringe Verstärkung von wenigen Gliedern zur Erzielung einer wesentlich höheren Tragfähigkeit genügte. Diese ist jetzt so hoch bemessen, daß man auch schweres Fuhrwerk, namentlich alle für die Landwirtschaft in dortiger Gegend verwandten Locomobilen ohne Bedenken über die Brücke fahren lassen kann. Der Betrieb ist kurz folgender. Die Brücke wird mittels der Druckwasserpresse aus den Lagern gehoben; dabei schließen sich unter Ertönen der Läutwerke die Wegschraken. Dann wird sie gedreht und auf den Gußkranz *L* (Abb. 3 Bl. 47 u. 48) gesetzt. Nach der Durchfahrt des Schiffes wird sie wieder angehoben, eingeschwenkt und auf die Lager heruntergelassen, wobei sich zugleich die Wegschraken öffnen.

Die Brücke bildet in der ausgeschwenkten Lage einen ungleicharmigen Hebel, geschlossen einen Träger auf drei Stützen.

Der zur Aufnahme des Gegengewichts bestimmte Hebelsarm ist hier nur sehr kurz ausgeführt, damit er noch seine Unterstützung auf dem Schleusenmauerwerk selbst finden kann. Dadurch wird ein besonderer Pfeiler für das hintere Auflager und damit die aus dem ungleichmäßigen Setzen nicht einheitlich gegründeter Bauwerke sich ergebende Unbequemlichkeit vermieden. Diese Anordnung hat sich als durchaus zweckmäßig erwiesen. Zwar hat das Gegengewicht eine bedeutende Größe erhalten — das Gesamtgewicht der abgelasteten Brücke beträgt rd. 56 000 kg —, indessen kommt dieser Umstand bei der gewählten Einrichtung und Betriebsart weder in Bezug auf die Herstellungs- und Unterhaltungskosten, noch auf die Schnelligkeit des Betriebes in Betracht. Auch die etwa durch Regen oder Schnee bei den ungleichen Armen eintretende ungleiche Belastung ist ohne Bedeutung für die Festigkeit der Brücke und die Sicherheit des Betriebes. Die Ablastung ist derart bewirkt, daß bei trockenem Bohlenbelag das um den Stützzapfen drehende Lastmoment des kürzeren, bei mit Schnee bedeckter Brücke das des längeren Armes überwiegt. Diese Einrichtung hat sich vollkommen bewährt. Zur Bestimmung der Belastung des kürzeren Brückenarmes wurde bei gelockerten Verbindungsschrauben ein Eisenstab zwischen den gußeisernen Kopf der Hubpresse und den Hauptquerträger der Brücke in der Drehachse senkrecht zur Brückenachse gelegt. Es ließ sich dann leicht und genau das gewünschte Uebergewicht des kürzeren Brückenarmes herstellen. Der Kopf der Hubpresse und der Hauptträger der Brücke sind fest mit einander verschraubt; dazwischen liegt eine dünne Bleiplatte. Die geschlossene Brücke ruht auf sechs mit Stellkeilen versehenen Lagern, je drei unter jedem Längsträger und zwar an den beiden Enden und in der durch den Drehpunkt senkrecht zur Brückenachse gelegten Ebene. Den Drehzapfen bildet der in einem Druckzylinder sitzende Kolben der Hubpresse (Abb. 3 Bl. 47 u. 48). Vor dem Drehen wird die Brücke durch Einlassen von Druckwasser in den Hubzylinder um 150 mm gehoben, damit sie sich frei über den Lagern hinweg drehen kann. Das nun vorhandene, aus der ungleichen Belastung entstehende geringe Drehmoment wird durch die im Prefszylinder sitzende, zu diesem Zweck reichlich lang bemessene Stopfbuchse und oben durch einen Rollenkranz *RR* (Abb. 3 Bl. 47 u. 48) aufgenommen. Bei dieser Anordnung ist die Reibung so gering, daß man bei ruhigem Wetter und abgenommenem Gestänge der Drehzylinder die Brücke bequem mit einer Hand drehen kann, wenn man am Ende des längeren Armes angreift.

Das Drehen der Brücke erfolgt durch die beiden Tauchkolben *K* und *K*<sub>1</sub>, die in Abb. 11 Bl. 49 näher dargestellt sind. Das Gestänge dieser Tauchkolben ist durch zwei Gallsche Ketten *G* und *G*<sub>1</sub> zu einem Ringe geschlossen (Abb. 3 Bl. 47 u. 48). Die Kette *G* umschließt im Halbkreis, auf einem Stahlringe *A* aufliegend, den runden, abgedrehten Aufsatz *C* der Hubpresse. Der Stahlring *A* ist gegen den Druckring *B* durch zwei Zwischenstücke derart abgestützt, daß der Aufsatz *C* beim Heben und Senken der Brücke im Ringe *A* gleitet. Tritt das Druckwasser in einen der Drehzylinder, so dreht die Kette *G* mittels des Keiles *Y* die Hubpresse und dadurch die Brücke. Die sämtlichen Betriebsvorrichtungen liegen in einem gewölbten Raum des Brückenmauerwerks, nur der Steuerbock mit den zwei Händeln für das Heben und Drehen der Brücke steht außerhalb auf dem Mauerwerk. *H* und *J* sind die beiden zugehörigen Steuerungen. Der Rahmen *F* schließt den Maschinenraum nach

oben hin ab. Der Druckrollenkranz wird durch den Deckel *D*, der Aufsatz *C* durch eine Gummi- oder Lederstulpe *E* gegen Schmutz geschützt. An die beiden mittleren Lager der Brücke schliessen sich kreisförmige Gufsstücke *L* von der Höhe des gufseisernen Lagerkörpers an, über die sich die beiden mittleren Füße *M* der Brücke beim Drehen dicht hinweg bewegen. Sinkt infolge eines Rohrbruches oder aus sonstigen Gründen die Brücke plötzlich, so stützt sie sich auf diese Gufsstücke, und Beschädigungen werden vermieden. Ebenso wird die geöffnete Brücke auf diese Gufsringe *L* niedergelassen. Die Reibung der Füße auf dem Gufsring ist hinreichend groß, das selbstthätige Drehen der Brücke durch den Wind zu verhindern.

Zur Vermeidung schwerer Unglücksfälle und von Beschädigungen der Brücke war es notwendig, diese so rechtzeitig durch Schranken (Text-Abb. 3) abzuschliessen, dass sofort nach dem Beginn des Anhebens der Brücke der Uebergang gesperrt und erst am Ende des Niederlassens wieder frei gegeben wird. Dies ist in sehr einfacher Weise selbstthätig erreicht. Ein ungleich-armiger Hebel greift mit seinem kurzen Arm *B* unter den Hauptträger der Brücke, während an seinem langen, ein Gewicht tragenden Arm *D* ein Drahtseil ohne Ende *F* befestigt ist, das mit der Schranke verbunden ist. Sofort beim Beginn des Hubes der Brücke wird der Daumen *B* entlastet. Infolge dessen wird der lange Arm *D* durch das fallende Gewicht abwärts gedreht und bewegt mittels der Verbindungstange *E* den Drahtzug *F* in der Pfeilrichtung *II*, d. h. schliesst nach Vorläuten und Mitläuten die Schranke. Beim Senken der Brücke drückt die Gurtung *A* auf den Daumen *B*. Dadurch wird der lange Hebelarm *D* aufwärts gedreht und mittels *E* der Drahtzug *F* in der Pfeilrichtung *I* bewegt, d. h. die Schranke wird geöffnet. Die Einrichtung hat sich vorzüglich bewährt.

Die Brücke liegt so hoch, dass fast alle Dampfer ohne Umlegen des Schornsteins unter derselben durchfahren können. Die meisten Segelfahrzeuge verkehren in der Schleuse mit aufgerichtetem Mast. Für diese, sowie für einige Dampfer ist die Brücke zu öffnen. Der ziemlich lebhaftes Fuhrwerksverkehr — Personen können über die beiderseitig mit Geländer versehenen Schleusenthore gehen — gestattet meist nicht, die Brücke

längere Zeit offen stehen zu lassen. Infolge dessen wird sie während der Schifffahrtzeit durchschnittlich 25 mal geöffnet und geschlossen. Die Handhabung ist bei der vorstehend beschriebenen Einrichtung außerordentlich einfach und die Bewegung so schnell, dass die Brücke für den Verkehr kaum als Hindernis angesehen werden kann.

Zur Vermeidung von Beschädigungen bei unaufmerksamer Bedienung ist sowohl der Hub, als auch die Drehung der Brücke durch selbstthätigen Abschluss des Druckwassers begrenzt. Beim Heben nimmt der Presskolben mittels des Ringes *N* (Abb. 3 Bl. 47 u. 48) die senkrecht verschiebbare Schiene *O* mit. Sobald der auf *O* sitzende, verstellbare Bund *P* gegen den oberen Arm der

Gabel *Q* stößt, wird mittels des Gestänges *S* der Steuerschieber in seine Mittellage bewegt und der Wasserzutritt langsam abgeschlossen. Dasselbe geschieht beim Niederlassen der Brücke durch Anschlag von *P* an den unteren Arm der Gabel *Q* zur Vermeidung zu heftigen Aufsetzens. Die selbstthätige Begrenzung der Drehbewegung bewirkt der am Druckkolben *K* sitzende Arm *F*. Dieser lehnt sich an die stellbaren Knaggen *U*. Durch die Stange *V* und den Hebel *W* wird wieder der Schieber in die Mittellage gebracht und der Wasserzutritt abgeschnitten. Die richtige Stellung von *P* und *U* wird nach der Aufstellung aller Theile ausgeprobt. Sollte aus irgend welchen Gründen die selbstthätige Ausrückung der Steuerung versagen, so legen sich zur Begrenzung des Hubes zwei am Aufsatz *C* sitzende Knaggen gegen den Ring *B*. Die Drehbewegung wird durch Anschlag der Brücke an Buffer begrenzt. Für die Handbewegung der Brücke ist bei *X* eine Handdruckpumpe mit zwei verschiedenen Kolben aufgestellt, von denen der schwächere zum Heben, der stärkere zum Drehen dient. Die Pumpe wird an die Rohrleitung angeschlossen, und dann erfolgt die Bewegung der Brücke, allerdings ziemlich langsam, ebenso wie oben beschrieben durch das von Hand erzeugte Druckwasser. Indessen bewirkt man das Drehen in diesem Falle leichter und schneller, indem man mit der Hand unmittelbar an der Brücke angreift. Der Handbetrieb der Brücke wird nur sehr selten nothwendig.

Die Spille. Zum Heraus- und Hereinziehen der Schiffe sind an der Schleuse bei *S*<sub>1</sub> bis *S*<sub>4</sub> (Abb. 1 Bl. 47 u. 48) vier Druckwasser-Spille aufgestellt, von denen die beiden am Oberhaupt auch für die Bewegung der Schutzhore, wie oben angegeben worden ist, mitbenutzt werden. Das Spill kann, je nachdem das Seil um die kleine oder große Trommel gelegt wird (Text-Abb. 4) einen Zug von 1000 bezw. 500 kg bei einer Geschwindigkeit von 0,5 bezw. 1 m ausüben. Diese Geschwindigkeit ist für den Schleusenbetrieb zu groß

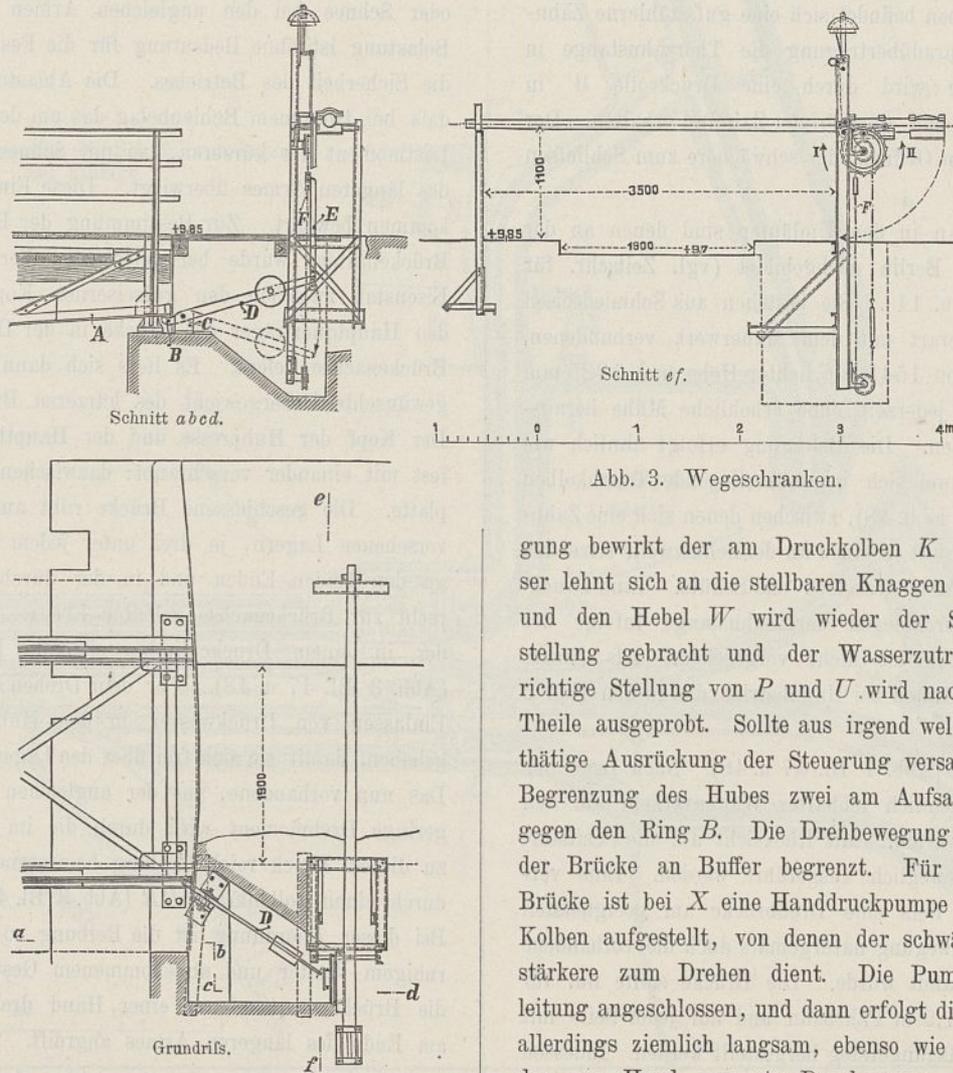


Abb. 3. Wegeschränken.

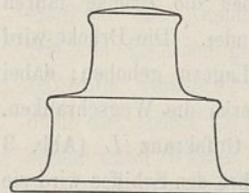


Abb. 4. 1:30.

und wurde durch Einlegen von Drosselscheiben auf 0,3 bzw. 0,6 m ermäßigt.

Die Pumpstation. Wie oben bereits angegeben wurde, ist der Stau in der Schleuse meist nur gering, bisweilen sogar negativ, d. h. es ist Rückstau vorhanden. Von der Anwendung einer Turbine für den Betrieb der Presspumpe mußte daher Abstand genommen werden. Nach Abwägung aller in Frage kommenden Verhältnisse erschien ein Petroleummotor am zweckmäßigsten, falls er die erforderliche Betriebsicherheit gewährte. Ferner wurde in Aussicht genommen, um nicht einen ständigen Wärter im Maschinenhause nothwendig zu haben, den Petroleummotor durch den Kraftsammler selbstthätig an- und abstellen zu lassen. Zugleich wurde jedoch darauf Bedacht genommen, jederzeit leicht die beim Beginn des Baues für die Wasserhaltung beschaffte zwölfpferdige, eincylindrige Wolfsche Locomobile an die Stelle des Petroleummotors setzen zu können, falls dieser den hier zu stellenden hohen Anforderungen nicht entspräche. Diese glaubte die Firma Ph. Swiderski in Leipzig mit den von ihr gebauten Capitaineschen Motoren erfüllen zu können. Nach mehrfachen Verhandlungen kam ein Zwillings-Petroleummotor dieser Firma probeweise zur Aufstellung. Er arbeitete zeitweilig recht gut, auch war das selbstthätige Anlassen und Abstellen des Petroleummotors durch den Kraftsammler in befriedigender Weise erreicht. Indessen erwies sich die Annahme, daß am Tage im Betriebe hinreichend lange Ruhepausen für die nothwendige Reinigung des Motors eintreten würden, als irrig. Die zwischen dem Verkehr der Segelfahrzeuge vorhandenen längeren Pausen wurden durch die inzwischen durchschleusenden Personen- und Frachtdampfer so abgekürzt, daß eine gründliche Reinigung am Tage nicht möglich war. Der Motor mußte somit, allerdings mit sehr vielen kleinen Pausen, in den langen Sommertagen von früh um 4 Uhr bis abends 9 Uhr ununterbrochen in Betrieb bleiben. Es kam nun mehrfach vor, theils veranlaßt durch die Eigenthümlichkeiten des Motors selbst, theils durch die mit demselben noch nicht hinreichend vertraute Bedienungsmannschaft, daß sich nach mehrtägigem, gleichmäßigem Betriebe vormittags Unregelmäßigkeiten im Gange zeigten. Diese hätten in einer bald darauf folgenden, hinreichend langen Pause leicht beseitigt werden können. Aus den oben erörterten Gründen mußte jedoch der Betrieb ohne die jetzt nothwendige Untersuchung und Reinigung bis zum späten Abend fortgesetzt werden. Infolge des schlechten Ganges, durch unregelmäßige Zündungen und schlechte Verbrennung des Petroleums trat dabei nach und nach eine solche Verschmutzung der ganzen Maschine ein, daß die Reinigung und Wiedereingangssetzung sehr zeitraubend und schwierig war. Wenn auch nach besserem Vertrautsein der Wärter mit den Eigenschaften der Maschine und durch Beschaffung eines guten, gleichmäßigen Petroleums eine Besserung zu erhoffen war, so konnte bei der Eigenart des Schleusenbetriebes doch niemals auf die erforderliche Sicherheit des Ganges des Petroleummotors gerechnet werden. Die gerade zu jener Zeit durch den Petroleumring sehr hoch getriebenen Petroleumpreise machten auch die erhoffte Kostenersparniß unmöglich. Es erschien daher angezeigt, die gleich anfangs als Ersatz in Aussicht genommene Locomobile von R. Wolf einzubauen, was in einem Tage bewirkt wurde. Die selbstthätige Anlafsvorrichtung wurde auch hierbei mit ganz geringer Abänderung verwandt. Sollten ausgeführte Verbesserungen oder niedrige Betriebskosten die Verwendung eines Petroleums- oder vielleicht Spiritusmotors

oder einer ähnlichen Betriebsmaschine dereinst wieder vortheilhaft erscheinen lassen, so kann solche jederzeit mit Leichtigkeit an die Stelle der Locomobile gesetzt werden.

Die Gesamtanlage im Maschinenraume ist aus Abb. 1 u. 4 Bl. 47 u. 48 ersichtlich. Von dem etwa 109 m tiefen artesischen Brunnen fließt das Wasser durch eigenen Druck in den Wasserbehälter. Die mittlere Steighöhe des Wassers liegt etwa 40 cm unter der Oberkante des Behälters auf 5,5 NN, wechselt indessen je nach der Jahreszeit etwas. Von dem Zulaufrohr zweigt ein Rohr ab nach dem vor dem Dienstgebäude stehenden Brunnenständer, wo das Wasser beständig in schwachem Strahl fließt, der bei Entnahme von Wasser durch das Niederdrücken eines Handhebels verstärkt werden kann. Es mußte unbedingt vermieden werden, daß selbst bei sehr starker Wasserentnahme am Brunnen etwas Wasser aus dem Behälter zurücklaufen und somit im Haushalt zur Verwendung kommen kann. Die Ausflußmenge am Brunnenständer hängt von der Höhenlage der Eintrittsöffnung am Wasserbehälter ab und soll natürlich zur Abkürzung der Füllungszeit eines Eimers möglichst groß sein. Eine jederzeit leicht ausführbare Regelung der Ein- und Austrittshöhe des Wassers am Behälter erschien daher nothwendig und ist durch Anbringung von drehbaren Muffenkniehohren für den Zu- und Ablauf erreicht. (Abb. 15 Bl. 49.) Das Zulaufrohr wird mit seiner Oeffnung so tief gesenkt, daß eben die erwünschte Wassermenge in den Behälter überläuft. Indem das Abflußrohr mit seiner Oeffnung noch etwas tiefer gestellt wird, ist der Wasserstand im Behälter stets niedriger als im Zulaufrohr und das Zurückfließen von Wasser unmöglich.

Aus dem Behälter entnimmt die dreicylindrige Presspumpe (Abb. 4 Bl. 47 u. 48) das Wasser und drückt es in den einem Wasserdruck von 50 kg/qcm entsprechend belasteten Kraftsammler (Abb. 5 Bl. 47 u. 48). Der Gewichtsbehälter ist mit Gufseisen gefüllt, sitzt beweglich auf dem oben kugelförmigen Kolben und wird am unteren Theile durch zwei am Cylinder sitzende Rippen geführt. Zur Vermeidung des zu starken Aufsetzens auf das Holzgerüst wird beim Niedergehen des Kraftsammlers durch die Rolle *X* vermittelst des Hebels *Y* das Bremsventil *Z* allmählich so zeitig geschlossen, daß das letzte Wasser nur durch eine kleine Nebenöffnung entweichen kann. Das Sicherheitsventil *W* wird durch Anschlagen des Armes *T* an den Knaggen *U* mittels des Gestänges *SV* geöffnet, sobald der Kraftsammler seine höchste Lage erreicht hat, und läßt das Wasser in den Wasserbehälter zurücklaufen. Das Ventil öffnet sich bei übermäßigem Druck in der Rohrleitung auch selbstthätig und kann jederzeit durch Anheben des Belastungsgewichtes gelüftet werden.

Das selbstthätige Anlassen und Abstellen der Locomobile durch den Kraftsammler wird folgendermaßen bewirkt. Die eincylindrige Locomobile springt nicht in jeder Kurbelstellung beim Oeffnen des Dampfventils von selbst an. Der für das Andrehen des Petroleummotors aufgestellte dreicylindrige Anlafsmotor (Abb. 12 Bl. 49) wurde daher auch für die Locomobile verwandt. Derselbe hat eine der Dreicylindermaschine der Spille ganz ähnliche Form. Die am Motor sitzende Riemenscheibe ist mittels des durch Abb. 14 Bl. 49 dargestellten Klemmgesperres nur für eine Drehungsrichtung mit der Motorwelle gekuppelt. Ferner gehören zur selbstthätigen Ingangssetzung und Abstellung der Druckwasser-Riemenausrücker *O* (Abb. 13 Bl. 49), die drei kleinen Steuerschieber *S*<sub>1</sub> an einem Ständer neben dem Anlafsmotor.

motor,  $S_2$  neben dem Riemenaustrücker  $O$  und  $S_3$  an der Wand neben dem Kraftsammler, sowie an der Wand des Maschinenhauses hinter der Locomobile ein kleiner Druckwasserkolben  $N$  von der Form des halben Riemenaustrückers für das Öffnen und Schließen des Dampfeinlasschiebers der Locomobile. Zum Anlafsmotor muß das Wasser durch  $S_3$  und  $S_2$ , zum stärkeren Kolben  $O_1$  des Riemenrückers  $O$  und zum hydraulischen Cylinder  $N$  durch  $S_1$ , während der kleinere Kolben  $O_2$  von  $O$  dauernd mit dem Druckwasser in Verbindung bleibt. Ist das Pumpwerk in Betrieb, so ist  $S_3$  und  $S_1$  offen,  $S_2$  geschlossen. Die Riemen werden durch den großen Kolben  $O_1$  von  $O$  auf den Festscheiben gehalten. Nähert sich der Kraftsammler seiner höchsten Stellung, so nimmt die Rolle  $d$  den Hebel  $e$  mit und schließt mittels des Gestänges  $g$  und  $h$  den Schieber  $S_3$  und durch den

Locomobile durch den Anlafsmotor angedreht, dann das Dampfventil geöffnet, demnächst werden die Riemen auf die Festscheiben geschoben, und zugleich wird der Anlafsmotor abgestellt. Beim Ausrücken wird zunächst der Dampfschieber geschlossen, und zugleich werden die Riemen auf die Losscheiben gelegt. Die lebendige Kraft in den beweglichen Theilen reicht dazu noch aus. Die Vorrichtungen lassen sich leicht so regeln, daß alle diese Bethätigungen in den erforderlichen Zwischenräumen nach einander erfolgen.

Im Maschinenhause ist noch eine Wasserpumpe mit Windkessel aufgestellt. Das Druckrohr führt zu dem neben dem Brunnenständer vor dem Dienstgebäude stehenden Hydranten (Abb. 1 Bl. 47 u. 48). Die Pumpe wird zum Besprengen der Gartenanlagen, Reinigen der Schleusenmauern und im Bedarfsfalle als Feuerspritze verwandt.

Zeichenerklärung.

- Hubcylinder der Drehbrücke.
- ⊖ Dreheylinder der Brücke.
- ⊖ Cylinder der Schleusenthore.
- ⊖ Cylinder der Umlaufschützen.
- Steuerung für den Hubcylinder.
- Steuerung für die Dreheylinder.
- ▣ Steuerung für die Schleusenthore.
- Steuerung für die Umlaufschützen.
- ⊠ Steuerung für die Schleusenthore.
- Steuerung für die Umlaufschützen.
- ⊙ Spille.
- × Abschlußventile.
- — — — — Hauptdruckleitung.
- - - - - Hauptrücklaufleitung.
- · - · - · Verbindungsleitungen zwisch. den Thorgliedern.
- · · · · desgl. zwischen den Schützcyllindern.

Die Hauptdruckleitung hat 30 mm lichte Weite.  
 Die Hauptrücklaufleitung hat 40 mm „ „  
 Alle übrigen Leitungen haben 25 mm „ „

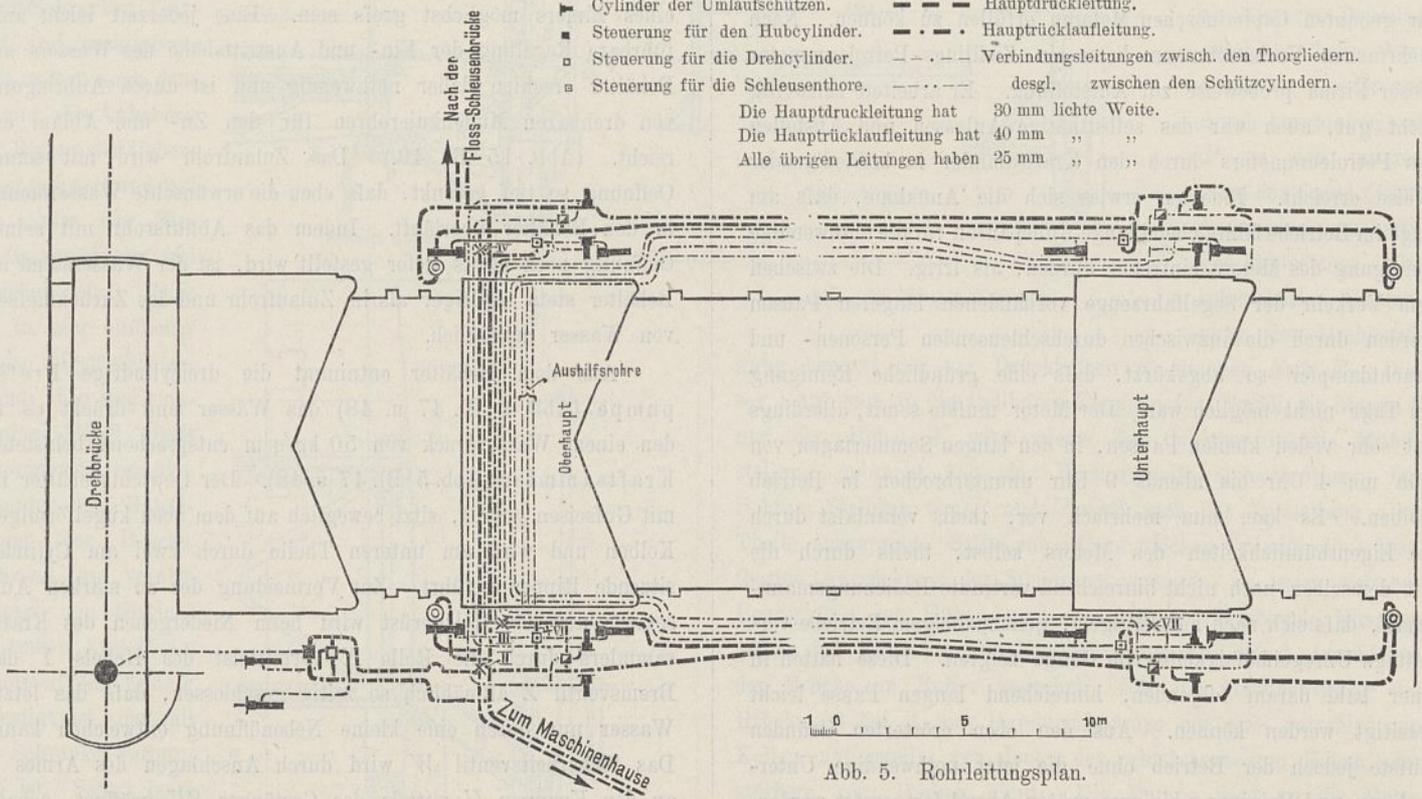


Abb. 5. Rohrleitungsplan.

Drahtzug  $i$  den Schieber  $S_1$ . Durch den letzteren wird das Druckwasser von  $O_1$  und  $N$  abgesperrt, sodafs das am Dampfschieber sitzende Gewicht  $k$  diesen schliesen, der nunmehr allein noch mit Druckwasser belastete Kolben  $O_2$  die Riemen auf die Losscheiben legen und zugleich den Schieber  $S_2$  öffnen kann. Beim Sinken des Kraftsammlers öffnet die Rolle  $d$  durch den Hebel  $f$  zunächst  $S_3$ , sodafs jetzt das Druckwasser durch  $S_3$  und  $S_2$  zum Anlafsmotor treten und durch ihn die Locomobile andrehen kann. Kurze Zeit darauf wird durch den Drahtzug  $i$  der Schieber  $S_1$ , danach zuerst durch  $N$  der Dampfschieber geöffnet, endlich werden die Riemen durch  $O_1$  auf die Festscheiben gelegt, und zugleich wird der Anlafsmotor durch Schließen von  $S_2$  abgestellt. Die Sperrkupplung am Anlafsmotor wirkt derart, daß der nur langsam gehende Motor die Locomobile andrehen, aber nicht von dieser nach dem Öffnen des Dampfschiebers mitgeschleppt werden kann. Beim Ingangsetzen der Locomobile wirken also dem Bedürfnifs entsprechend die einzelnen Vorrichtungen in folgender Reihenfolge. Zunächst wird die

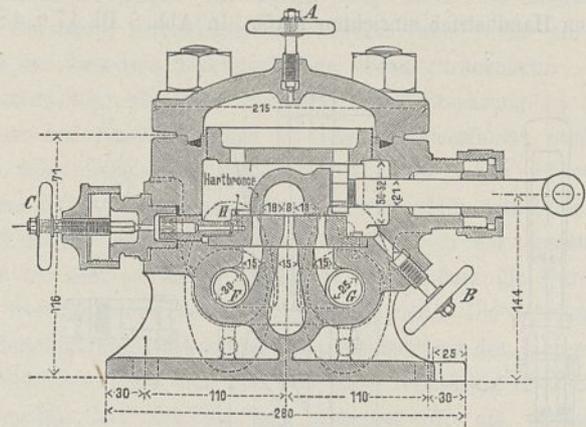
Die Rohrleitungen. Bei jeder Druckwassermaschine befindet sich eine besondere Steuerungsvorrichtung. Es hätte somit eine Druck- und Rückleitung nebst Verbindungsleitungen zwischen diesen an den einzelnen Steuerungen ausgereicht. Indessen wären bei dieser Anordnung beim Schleusen stets zwei Mann erforderlich gewesen, die gleichzeitig die zusammengehörigen Schützen und Thore bewegen. Bei den eigenartigen Wasserstandsverhältnissen an der Schleuse bei Einlage würde dadurch eine Verzögerung im Durchschleusen eintreten, die namentlich für die zahlreichen Personendampfer ins Gewicht fällt, oder es müßten ständig vier Wärter anstatt zwei auf der Schleuse beschäftigt werden. Infolge dessen wurde die Einrichtung so getroffen, daß stets beide zusammengehörigen Thorflügel oder Schützen zugleich bewegt werden, gleichgültig, welche der beiden zugehörigen Steuerungen der Wärter benutzt. Zu dem Zweck sind stets die zwei zusammengehörigen auf beiden Seiten der Schleuse liegenden Steuerungen durch Rohrleitungen verbunden worden. Text-Abbild. 5 giebt eine übersichtliche

Zusammenstellung aller Maschinen und Rohrleitungen. Diese letzteren bestehen aus Schweifeseisen und sind, soweit sie nicht in den Maschinencanälen liegen, im Erdboden auf am Mauerwerk der Schleuse befestigten Krageisen derartig verlegt, daß sie leicht entwässert werden können. Ohne Anlegung besonderer Entwässerungsschächte war dabei die ganz frostsichere Lage nicht möglich. Indessen liegen die Röhren sämtlich so tief, daß sie während des Schleusenbetriebes gegen Einfrieren gesichert sind. Bei Eintritt der Wintersperre wird überall das Wasser abgelassen. Nach der dem Maschinenhause gegenüberliegenden Schleusenseite werden die Röhren derart geführt, daß sie erst in einen Schacht X (Abb. 1 u. 2 Bl. 47 u. 48) senkrecht nach unten, dann in einem mit Gußeisenplatten überdeckten Canal in der Sohle der Nische des oberen Betriebsthores nach der linken Schleusenseite gehen und dort wieder in einem senkrechten Schacht X<sub>1</sub> aufsteigen. Auf dem gewachsenen Boden zwischen Maschinenhaus und Schleuse liegen die Röhren auf kleinen Mauerklötzen. Bei den im aufgeschütteten Boden liegenden Rohrleitungen von der Schiffsschleuse nach der Flossschleusenbrücke ist darauf Bedacht genommen, daß die Rohrleitungen dem Setzen des Bodens folgen können.

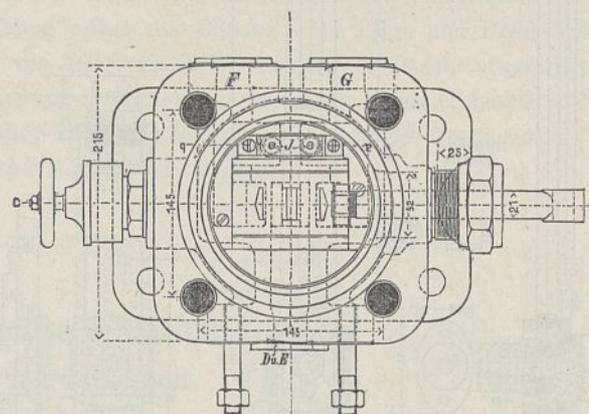
Man kann je nach Bedarf mit oder ohne Rücklauf arbeiten. Das aus dem artesischen Brunnen überaus reichlich zufließende und sehr reine Betriebswasser läßt im allgemeinen die Verwendung frischen Wassers vortheilhaft erscheinen, während bei Frostwetter unter Anwärmung des Wassers im Behälter durch Dampf von der Locomobile zweckmäßig Rücklauf angewandt wird. Es ist nicht beabsichtigt, für die kurze Betriebszeit der Schleuse bei Frostwetter die Druckwassereinrichtungen durch den sehr kostspieligen Zusatz von Glycerin gegen Einfrieren zu schützen. Bei Frostwetter werden die Riffelblechabdeckungen der Maschinencanäle mit geflochtenen Rohrmatten belegt und durch Petroleumöfen oder kleine Kokskörbe geheizt, während die schwer zu schützenden und in dieser Zeit nicht gebrauchten Spille durch Ventile vom Druckwasser abgesperrt und entwässert werden. Dasselbe geschieht mit der Flossschleusenbrücke, deren Bewegung dann gleichfalls nicht erforderlich ist. Es ist auf diese Weise gelungen, den Druckwasserbetrieb bei -14 Grad C. noch mehrere Tage vollständig aufrecht zu erhalten, bis das Zusammenfrieren der Schlagsäulen der Thore das Einstellen der Schließungen bedingte. Die Maschinenteile der Drehbrücke liegen in dem massigen Mauerwerk hinreichend gegen Frost gesichert. Für jedes Schleusenhaupt sind zwei, im ganzen also vier Wärmevorrichtungen erforderlich, die so aufgestellt werden, daß die aufsteigende warme Luft alle Theile berührt. Beim Vorhandensein von Leuchtgas würden vier Gasflammen für den Frostschutz ausreichen. Aus Rücksicht auf den Frost sind auch die außerhalb der Maschinencanäle liegenden Theile der Rohrleitungen im Erdboden und nicht in gemauerten Canälen verlegt, in denen sie nur sehr schwer gegen Einfrieren gesichert werden könnten. Erfahrungsgemäß haben die im Erdboden verlegten Rohrleitungen sehr lange Dauer. Undichtigkeiten sind bei sorgfältiger Ausführung nicht zu befürchten, würden sich auch bei der verhältnißmäßig flachen Lage der Röhren im Erdboden durch Aufweichen des letzteren leicht kenntlich machen und beseitigt werden können.

Mehrfache Abschlußvorrichtungen, die in den Abbildungen mit römischen Zahlen bezeichnet sind, ermöglichen das Ausschalten einzelner Theile vom Druckwasserbetriebe. I liegt im Maschinen-

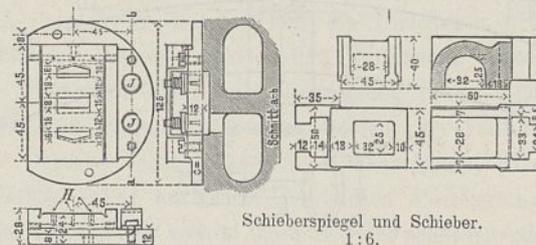
hause (Abb. 4 Bl. 47 u. 48), schließt alle äußeren Leitungen und Maschinen ab und wird hauptsächlich während der Nacht geschlossen, um das Sinken des Kraftsammlers infolge der unvermeidlichen kleinen Undichtigkeiten zu verhindern und somit hinreichendes Druckwasser für eine etwa erforderlich werdende Nachschleusung stets vorrätig zu haben. Die größte Schwierigkeit macht die Bewegung der Drehbrücke mit der Hand. Der Maschinenbetrieb derselben ist somit möglichst wenig auszusetzen. Zu dem Zweck ist die Abschlußvorrichtung II (Text-Abb. 5)



Schnitt ed.



Oberansicht (ohne Deckel).



Schieberspiegel und Schieber.  
1:6.

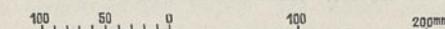


Abb. 6. Steuerung für die Schleusenthore.

eingeschaltet, die alle Bewegungsvorrichtungen mit Ausnahme derjenigen der Schiffsschleuse vom Zutritt des Druckwassers abschließt. Diese letzteren sind leicht auch bei strengem Frost gegen Einfrieren zu sichern. Somit kann der Maschinenbetrieb der Brücke noch beibehalten werden, wenn wegen Frostwetters oder sonstiger Ursachen für die Schleuse der Handbetrieb eingerichtet ist. III schließt die auf der rechten, IV die auf der linken Schleusenseite liegende Hauptdruckleitung und ein in der Maschinenkammer der Flossschleusenbrücke liegendes Ventil V die Bewegungsmaschinen der Flossschleusenbrücke vom Zutritt des Druckwassers ab. Ventil VI trennt die Thorcylinder auf beiden Seiten des Oberhauptes, VII diejenigen des Unterhauptes, sodafs jedesmal nur der der benutzten Steuerung zunächst liegende Thorflügel

bewegt wird. Jede einzelne Bewegungsmaschine wird schliesslich durch den zugehörigen Steuerungsteil vom Zutritt des Druckwassers abgesperrt. Bei den Thoren gilt dies jedoch nur, wenn die Ventile VI und VII geschlossen sind, andernfalls sind die Bewegungsmaschinen der Thore, ebenso wie stets diejenigen der Umlaufschützen nur dann abgeschlossen, wenn beide zu einem Schleusenhaupt gehörigen Steuerungshändel in der Mittelstellung stehen. Es ergibt sich hieraus, für welchen Theil der Anlage man bei etwaigen Rohrbrüchen oder sonstigen Beschädigungen der Druckwassermaschinen den Druckwasserbetrieb ausschalten und den Handbetrieb einrichten mufs. In Abb. 8 Bl. 47 u. 48 ist

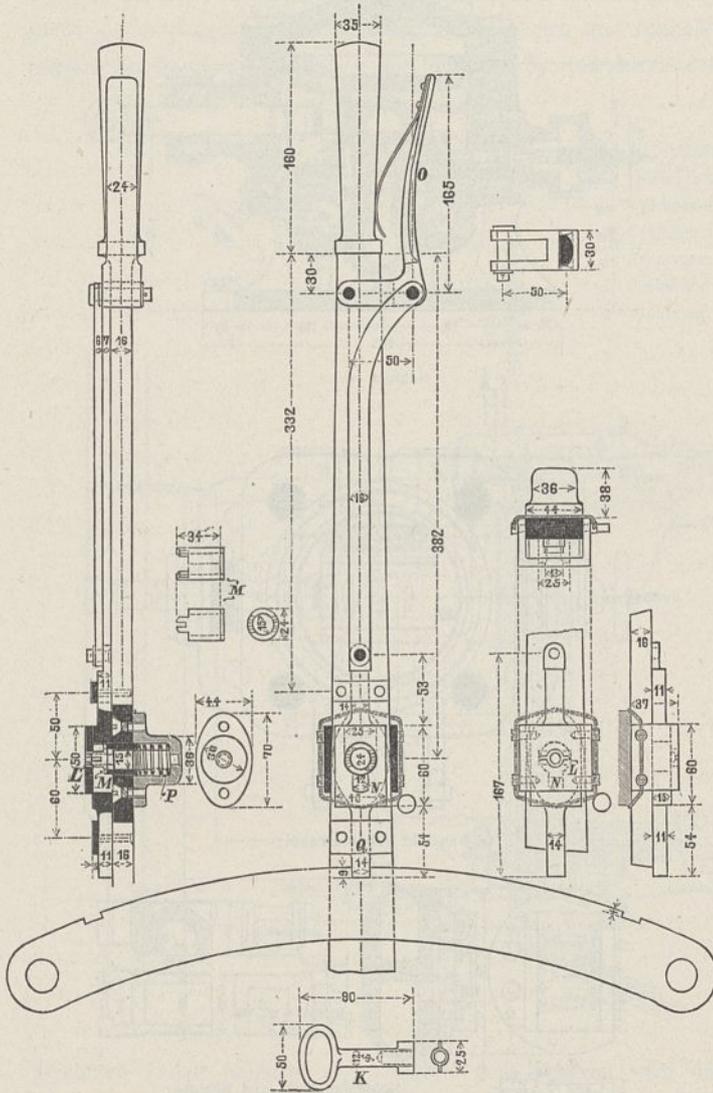


Abb. 7. Handsteuerhebel. 1:6.

ein Entwässerungsstutzen für die Motoren und Rohrleitungen dargestellt.

Die Steuerungsvorrichtungen. Die Text-Abb. 6 zeigt die Steuerungsvorrichtung für die Bewegung der Schleusenthore. Die Wasserverteilung erfolgt durch kleine Schieber aus Hartbronze, die auf ebensolchen Spiegeln laufen. Das Gehäuse besteht aus Rothguß. A ist die Entlüftungs-, B die Ablass-, C die Schmiervorrichtung. Das Schmieren kann nur vorgenommen werden, wenn kein Druck in der Leitung ist. Das Fett tritt durch die Oeffnungen H auf den Schieberspiegel. Bei D schliesst das Zuleitungs-, bei E das Ableitungsrohr an (vgl. auch Text-Abb. 8). Die bei F und G befestigten Rohre stellen die Verbindung mit der entsprechenden Steuervorrichtung auf der anderen Schleusenseite her. Die Sicherheitsventile J verhindern

die Entstehung eines übermäßigen Druckes in diesen Verbindungsleitungen.

Der Handsteuerhebel (Text-Abb. 7) wird durch einen kreisbogenförmigen Bock geführt und besitzt eine Sperrklinke, durch die der Hebel in der Mittel- und in den Endlagen festgestellt wird. Zur Vermeidung von Wasserverschwendung und Betriebsstörungen ist es erforderlich, daß der Hebel nach der Benutzung jedesmal wieder in die Mittelstellung gebracht wird. Will z. B. ein auf der rechten Schleusenseite befindlicher Wärter das Thor schliessen, während der Hebel auf der linken Schleusenseite noch auf Oeffnen steht, so wird durch die Rohre F' und G eine Verbindung mit der Rückleitung hergestellt und das Druckwasser fließt ohne Arbeit ab. Dies war nach Möglichkeit zu verhindern. Der öffentliche Verkehr geht theilweise über die Schleusen; ein Abschluß derselben für das nicht schiffahrttreibende Publicum ist nicht zugänglich. Somit war Fürsorge zu treffen, daß nicht Unberufene durch Handhabung der frei auf der Schleusenplattform stehenden Steuerungshändel schwere Unfälle herbeiführen können. Beide Bedingungen sind durch einen einfachen Verschluss des Steuerungshebels erreicht. Der Wärter steckt mit der linken Hand den Schlüssel K in das Schlüsselloch L und drückt damit die durch die Feder P vorgeschobene Hülse M soweit zurück, daß er den Schlüssel um 90° drehen kann. Der Schlitz N in der Sperrklinke Q gestattet jetzt, die bisher durch M festgehaltene Sperrklinke Q mit der rechten Hand durch Andrücken von O an den Handgriff auszuheben und den Steuerhebel umzulegen. Die nur 4 mm tiefen Einschnitte für die Sperrklinke in den Endlagen gestatten nicht wie der 9 mm tiefe Mitteleinschnitt das Zurückdrehen und Herausziehen des Schlüssels. Der Wärter besitzt nur einen Schlüssel und mufs daher für den Gebrauch weiterer Steuerungen den Händel erst wieder in die Mittellage bringen, die Sperrklinke einfallen lassen und den Schlüssel abziehen. Damit ist die Steuerung zugleich für Unbefugte verschlossen. Die Steuerungen der Drehbrücke sind ähnlich, jedoch den Anforderungen entsprechend einfacher ausgeführt. Steuerungsbock- und Handhebel sind überall gleich. Text-Abb. 8 stellt eine Steuerungsvorrichtung für die

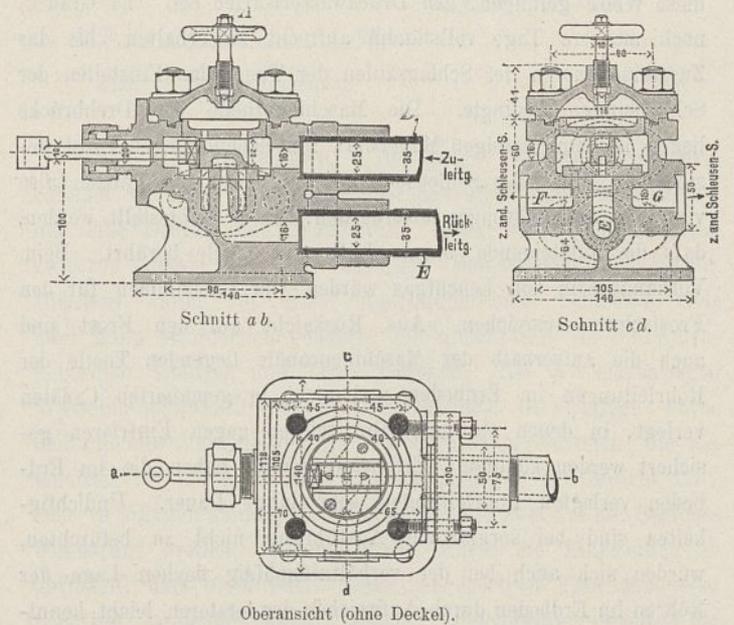


Abb. 8. Steuerung zur Bewegung der Drehschützen. 1:6.

Drehschützen dar. Beachtenswerth sind die geringen Abmessungen des Schiebers und der Canäle, die eine besondere Schmier-

vorrichtung entbehrlich machen. Das Entwässern erfolgt durch die Leitungsröhren. Ein Ablassventil ist daher nicht vorhanden. Für die Bezeichnung der einzelnen Theile sind dieselben Buchstaben wie oben gewählt.

Der Betrieb der Schiffsschleuse bei Einlage weicht infolge der eigenartigen Wasserverhältnisse wesentlich von dem anderer Schleusen ab. Das Unterwasser der Schleuse steht durch die alte Weichselmündung bei Neufähr mit der Ostsee in Verbindung und hat mit dieser gleiche Höhe. Das Schleusengefälle entspricht somit dem Oberflächengefälle des Stromes im Durchstich von der Schleuse bis zur neuen Mündung bei Schiewenhorst. Das Stromgefälle ist auf dieser gegenwärtig etwa 3,5 km betragenden Strecke bei dem breiten Bett und den glatten Ufern naturgemäß sehr gering. Bei besonderen Windverhältnissen wird das Schleusengefälle sogar negativ, das heißt das in der tothen Weichsel durch den Wind aufgestaute Wasser strömt durch die Schleuse nach dem neuen Stromlauf. Die starken Druckcylinder gestatten das Oeffnen der Thore gegen einen Stau von etwa 16 cm. Wie vorstehend erörtert, ist ein höheres Gefälle in der Schleuse nur selten vorhanden. Man kann daher während des größten Theiles der Schifffahrtzeit die Thore gegen den Stau ohne Benutzung der Umläufe zur Ausspiegelung des Wassers einfach aufreißen. Dadurch wird die Zeit für das Durchschleusen außerordentlich gering und die zahlreichen, die Schleuse durchfahrenden fahrplanmäßigen Personendampfer, die von der jedesmaligen Meldung beim Schleusenmeister befreit sind und das Oeffnen der Drehbrücke nicht erfordern, gehen in der nachstehend angegebenen Art, fast ohne anzuhalten, durch

die Schleuse. Hat ein Dampfer seine Ankunft mittels der Dampfpeife angezeigt, so findet er in den meisten Fällen bereits das geöffnete Thor vor. Dieses wird durch den einen Schleusenwärter unmittelbar hinter dem Fahrzeug wieder geschlossen, worauf der an der Steuerung des anderen Thores stehende Wärter sofort das zweite Thor zur Ausfahrt öffnet. Für die Personendampfer und kleineren Fahrzeuge genügt das Oeffnen eines Thorflügels zur Durchfahrt. Das Druckwasser muß von der dazu benutzten Steuerung nach dem gegenüberliegenden Thorflügel den weiten Weg durch die Thorkammer am Oberhaupt zurücklegen und verliert dabei soviel an Kraft, daß der jenseitige Thorflügel stets etwas zurückbleibt. Dieser Umstand wird hier sehr vortheilhaft zur Ersparung an Druckwasser und Beschleunigung des Betriebes ausgenutzt, ohne daß sich dabei Uebelstände herausgestellt hätten. Nur an wenigen Tagen ist das Schleusengefälle so gering, daß man beide Thore offen stehen lassen kann. Die Strömung in der Schleuse ist auch bei sehr geringem Gefälle so stark, daß die Durchfahrt für Segelfahrzeuge sehr beschwerlich wird. Die Druckwasserbetriebseinrichtung ist während der Schifffahrtzeit des Jahres 1895 in Betrieb gewesen und hat sich dabei vollständig bewährt. Die Locomobile hat sich als sehr geeignet für die vorliegenden Zwecke erwiesen. Der durchschnittliche Kohlenverbrauch je Betriebstag betrug nur 230 kg. Die Thore und Drehbrücke wurden von der Firma J. W. Klawitter in Danzig angefertigt. Die Druckwasserbetriebsanlage ist von der Firma G. Luther in Braunschweig unter der besonderen Leitung des Obergeringieurs Krukenberg ausgeführt worden.

## Die Regulirung der Weichselmündung.

### Die Dampffähranstalt bei Schiewenhorst.

(Mit Abbildungen auf Blatt 50 im Atlas.)

(Alle Rechte vorbehalten.)

Das neue Weichselstrombett\*) durchschneidet bei Schiewenhorst die unmittelbar hinter der Düne liegende Provincial-Chaussee von Danzig nach Stutthof am Frischen Haff. (Vgl. die Text-Abb. S. 381.) Der auf dieser Strafe herrschende beträchtliche Verkehr bedingte die Anlage einer Fähranstalt für Fuhrwerke und Menschen, die so einzurichten war, daß ihr Betrieb dauernd erhalten blieb und nur beim stärksten Eisgange eine Unterbrechung erlitt. Wie aus dem Uebersichtsplan (Text-Abb. 1) ersichtlich, geht der Fährbetrieb von stromabwärts gerichteten Einschnitten aus, die in den beiden Stromufern angelegt worden sind. (Vgl. auch Text-Abb. 2, 5 u. 6.) Der Strom besitzt hier eine Breite von 400 m. Die Entfernung der Fähranstalt von der offenen See beträgt nur etwa 1,2 km, sodafs nördliche und nordöstliche Seewinde mit ungeschwächter Kraft bis hierher wirken können. Die hierdurch bedingte Schwierigkeit des Fährbetriebes wird im Winter noch durch die Eisverhältnisse der Weichsel erheblich vermehrt. Im unteren Stromlauf wird nämlich durch fiscalische Eisbrechdampfer eine Rinne für den Abgang des Eises dauernd frei gehalten. Während der hierfür oft monatelang dauernden Eisbrecharbeiten ist der Betrieb der Prahmfähren auf dem meist dicht gedrängt mit treibenden Eisschollen bedeckten Strome un-

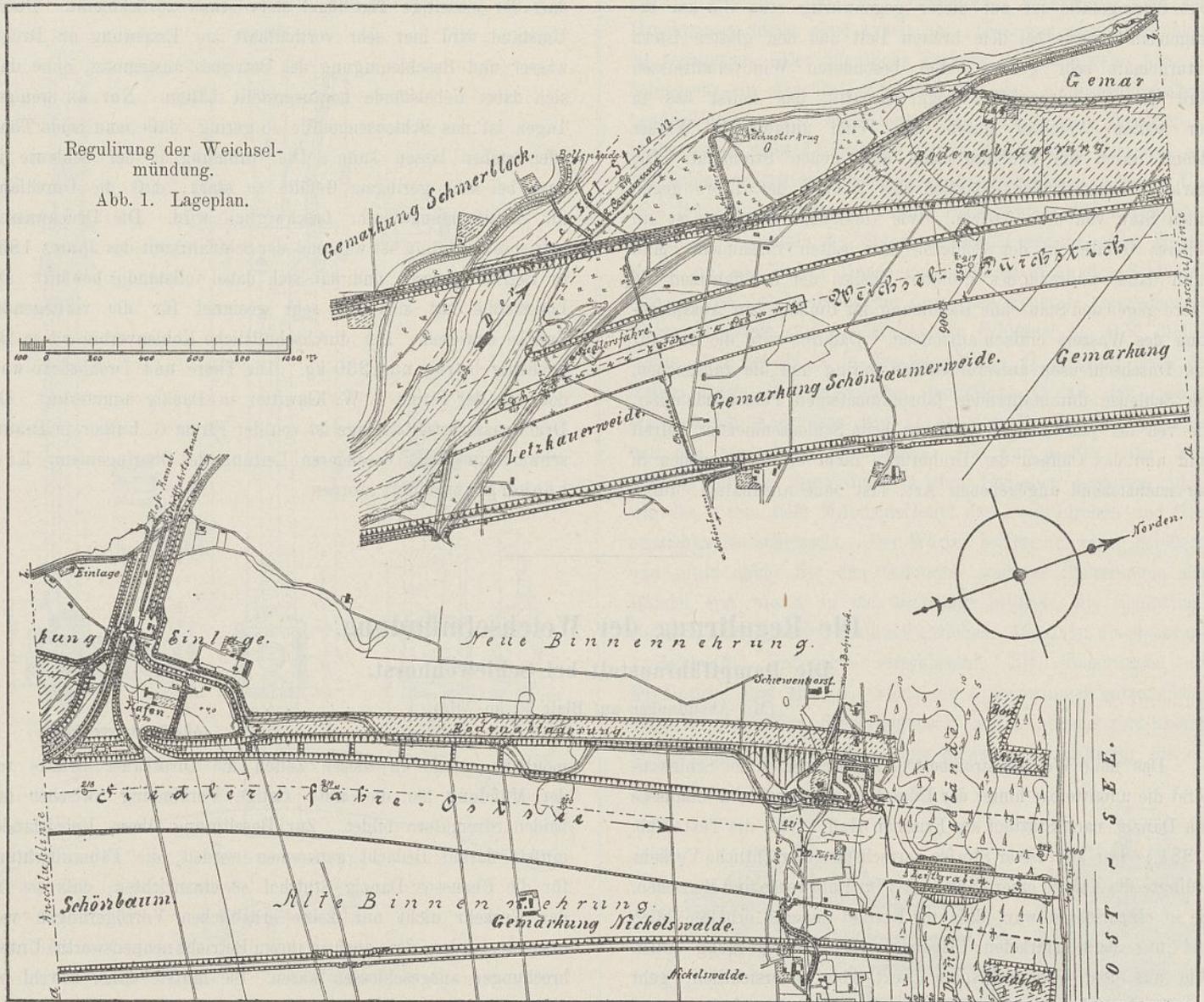
möglich, sodafs in diesen Zeiten die Dirschauer Brücke von der Mündung her die erste stetige Verbindung zwischen den beiden Stromufern bildet. Zur Beseitigung dieses Uebelstandes mußte darauf Bedacht genommen werden, die Fährinrichtung für die Chaussee Danzig-Stutthof so einzurichten, daß sie für den Verkehr nicht nur keine erheblichen Verzögerungen verursachte, sondern daß auch in ihrem Betriebe nennenswerthe Unterbrechungen ausgeschlossen waren. Sie mußte daher sowohl bei der wegen der großen Nähe der See oft sehr starken Dünung, als auch bei Eistreiben mit gleicher Sicherheit fahren können und außerdem imstande sein, sich als Eisbrecher ihre Fahrstraße und ihre Landstellen vom Eise frei zu machen. Das einfache Anlegen des Fährschiffes an den Landstellen erschien wegen der selbst in den Fährinschnitten nicht selten erheblichen Dünung und der damit verbundenen Schwankungen des Schiffes nicht angängig. Ferner war es wünschenswerth, eine möglichst große Anzahl Fuhrwerke gleichzeitig übersetzen zu können, damit namentlich der sich auf wenige Stunden zusammendrängende Marktverkehr leicht und ohne Verzögerung bewältigt werden konnte. Unter den so gegebenen Verhältnissen kam nur die Anschaffung eines Dampffährschiffes in Frage. Als weiteres Erforderniß wurde die Ausrüstung des Schiffes mit je einer Schraube an den beiden Enden und eine derartige

\*) Vgl. Centralblatt der Bauverwaltung 1895 S. 133 und 356.

Einrichtung des Decks in Aussicht genommen, dafs die Fuhrwerke in der Längsrichtung auf das Fährschiff gelangen und, ohne zu wenden, von ihm herunterfahren können. Zur Aufhebung der Schwankungen des Schiffes bei starker Dünung sollte dasselbe sich an den Landstellen zwischen elastischen Wänden einklemmen.

Zur Erlangung geeigneter Entwürfe und Kostenanschläge wurde unter Zugrundelegung genauer, den vorstehend angegebenen Verhältnissen angepaßter Bedingungen ein engerer Wettbewerb für das Fährschiff und die Landebrücken veranstaltet.

Den Kiel bildet ein Flacheisen von  $130 \times 26$  mm Stärke. Die beiden Steven sollen im Eise einen Schutz des Ruders bilden und haben 130 mm Breite und 40 mm Stärke erhalten. Der Schiffskörper ist in allen Theilen so kräftig gebaut, dafs das Schiff den gestellten Bedingungen entsprechend auch als Eisbrecher verwandt werden kann. Demzufolge ist auch die Stärke der äufseren aus Stahlblech bestehenden Beplattung gewählt worden. Die Stärke des Scheerganges ist durchweg 8 mm, die des Ganges in der Wasserlinie 13 mm und die aller übrigen Platten 10 mm. Längs- und Quernähte haben doppelte Nietung.



Die geeignetste Form des Fährschiffes hatte F. Schichau in Elbing vorgeschlagen. Dieselbe kam mit einigen wesentlichen Verbesserungen, namentlich der Maschineneinrichtung, zur Ausführung. Die Lieferung der Landebrücken wurde der Firma J. W. Klawitter in Danzig nach dem eingereichten Entwurf übertragen.

Das Fährdampfschiff (Abb. 1 und 2 Bl. 50) hat die nachstehend aufgeführten Hauptabmessungen:

Länge zwischen den Perpendikeln . . . . .	24,0 m,
Größte Breite über den Spanten . . . . .	8,0 „
Tiefe von Oberkante Kiel bis Unterseite Deck im Hauptspant . . . . .	2,9 „
Tiefgang, fertig ausgerüstet und voll besetzt etwa	2,0 „

Das Fährschiff hat zwei Zweicylinder-Verbundmaschinen von je 95 PS<sub>i</sub>, zwei Dampfkessel, zwei Schrauben, von denen jede an einem Schiffsende arbeitet, eine Dampfsteuermaschine und eine Dampfumsteuerungsmaschine. Die Schraubenwelle ist mit einer Ausrückkupplung und zwei lösbaren Kupplungen versehen, die ermöglichen, mit jeder der beiden in der Längsachse des Schiffes hinter einander stehenden Maschinen jede Schraube einzeln oder beide zusammen zu betreiben. Die Schraubenwelle und die Schrauben sind so stark, dafs jede Schraube allein die volle Leistung beider Maschinen aufnehmen kann und dafs die Schrauben durch das Aufschlagen auf Eisschollen nicht beschädigt werden. Die Dampfleitungen sind so angeordnet, dafs mit jedem der beiden Dampfkessel jede Maschine betrieben werden kann. Wegen

der unmittelbaren Nähe der See ist das Wasser an der Fährstelle bisweilen etwas salzhaltig. Das Condensationswasser wird daher für die Kesselspeisung wieder verwandt. Das Schiff hat alle wesentlichen Theile, deren Unbrauchbarkeit eine Betriebsunfähigkeit herbeiführen könnte, doppelt. Beschädigungen an diesen Theilen können somit während des Betriebes oder in geeigneten Pausen während der Nacht beseitigt werden. Jeder der beiden Dampfkessel (Abb. 3 bis 6 Bl. 50) hat 78 Stück Siederohre von 74 mm innerem und 80 mm äußerem Durchmesser, 41 qm Heizfläche, 1,2 qm Rostfläche, 1,2 cbm Dampfraum und 3 cbm Wasserraum. Die Dampfsteuermaschine liegt im Oberlichtraum dicht über Deck und ist von allen Seiten leicht zugänglich. Sie ist mit den beiden Steuerrudern durch so kräftige Leitung verbunden, daß auch beim Eisgang keine Störungen im sicheren Betriebe zu befürchten sind. Bei stärkerem Eise könnten sich leicht größere Eischollen zwischen Steuerrudern und Rahmen festklemmen und dadurch das Schiff steuerlos machen. Um dies zu verhindern, ist die Vorkehrung getroffen worden, daß man das jeweilig vordere Steuer durch eine Schraube *A* leicht feststellen und verriegeln kann. Ist die Dampfsteuermaschine nicht betriebsfähig, so kann diese ausgeschaltet und das Schiff mit der Hand gesteuert werden. Die Wirkung der Dampfsteuermaschine ist außerordentlich sicher und ihr Gang fast geräuschlos, sodafs dicht daneben stehende Pferde nicht im geringsten beunruhigt werden. Die Dampfsteuerungsmaschine ist so angeordnet, daß ein Mann bequem beide Dampfmaschinen bedienen kann.

Die Fahrbahn für den Wagenverkehr ist zu beiden Seiten angeordnet worden. Dadurch ist es ermöglicht, den Maschinen- und Kesselräumen reichlich Licht und Luft zuzuführen und außerdem bequeme Eingänge zu den unteren Räumen zu schaffen. Bei der großen Breite des Schiffes verursacht die einseitige Belastung desselben durch ein Fuhrwerk eine so geringe Krängung, daß dadurch Unbequemlichkeiten nicht entstehen können. Die Fuhrwerke werden mit den Rädern zwischen Schrammleisten (nach Text-Abb. 3) geführt. Die vordere Schräge der Schrammleisten erschwert das Aufsteigen der Räder auf die Leiste und verhindert die Beschädigung des Radkranzes. Acht zweispännige Fuhrwerke können zugleich auf dem Fährschiff Platz finden und übergesetzt werden, ohne daß die Pferde angespannt werden. Die Fuhrwerke fahren unter der Commandobrücke hindurch. Die lichte Höhe unter derselben beträgt 3,5 m. Zum Schutz des Schiffsführers und Steuermannes

gegen Witterungsunbilden ist nachträglich ein Steuermannshäuschen aus Blech auf der Commandobrücke aufgestellt worden. Die obere Hälfte der Wände dieses Häuschens kann im Sommer entfernt werden. Mittschiffs befinden sich auf beiden Seiten des Decks Sitzplätze für Fahrgäste. Das Schiff hat hier zum Schutze gegen Spritzwellen eine feste Schanzkleidung erhalten. Auch ein Abort mit Raum für Bedürfnisstände, letzterer zugleich Lampenkammer, ist vorgesehen. Die innere Einrichtung besteht im Vorschiff aus der Piek, die auch als Inventarienraum dient, und der Kajüte für Fahrgäste, die mit rund herumlaufenden Bänken und einem Tisch ausgestattet ist. Im Hinterschiff befindet sich die Piek, die als Aufbewahrungsort für Ketten und Tauwerk dient, je eine Kammer für den Schiffsführer und Maschinisten und der Unterkunftsraum für die Mannschaft. Die vordere und hintere Piek sind durch einen mannlochartigen Verschlufs mit gufseisernem Deckel zugänglich. Sämtliche bewohnten Räume haben Dampfheizung.

Bei den nach mehrwöchigem Betriebe des Fährschiffes in der Danziger Bucht zwischen Neufahrwasser und Zoppot vorgenommenen Probefahrten wurde die Geschwindigkeit des Schiffes beim Gange beider Maschinen und Schrauben zu etwas über acht Knoten ermittelt. Dabei wurden die verschiedensten Zusammenstellungen zwischen Maschinen und Schrauben erprobt und unter anderem das zunächst überraschende Ergebnis erzielt, daß die Geschwindigkeit nicht wesentlich — noch nicht 10 v. H. — geringer

war, wenn die jeweilig hintere Schraube durch nur eine Maschine betrieben wurde, als wenn beide Maschinen und Schrauben gleichzeitig in Betrieb waren. Der Maschinist hatte das auch schon beim Fährdienste gefunden und benutzte stets bei offener Ausrückkupplung die jeweilig hintere Schraube mit der zugehörigen Maschine. Die vordere Schraube dreht dabei die zugehörige Maschine langsam rückwärts. Der Dampfverbrauch und damit auch der Kohlenverbrauch ist bei der gewählten Anordnung von Maschinen und Schrauben, welche die größte Betriebsicherheit giebt und erforderlichen Falles die Entwicklung einer sehr großen Kraft ermöglicht, der denkbar geringste. Auch die von einer Maschine allein betriebene jeweilig vordere Schraube gab dem Schiffe noch eine Geschwindigkeit von über fünf Knoten, die unter den gewöhnlichen Verhältnissen für den Betrieb ausreicht, sodafs bei gleichzeitiger Beschädigung einer Maschine und einer Schraube der Betrieb auch noch, ohne zu wenden, aufrecht erhalten werden kann. — Die Text-Abb. 4 zeigt die stromabwärts gekrümmte Bahn

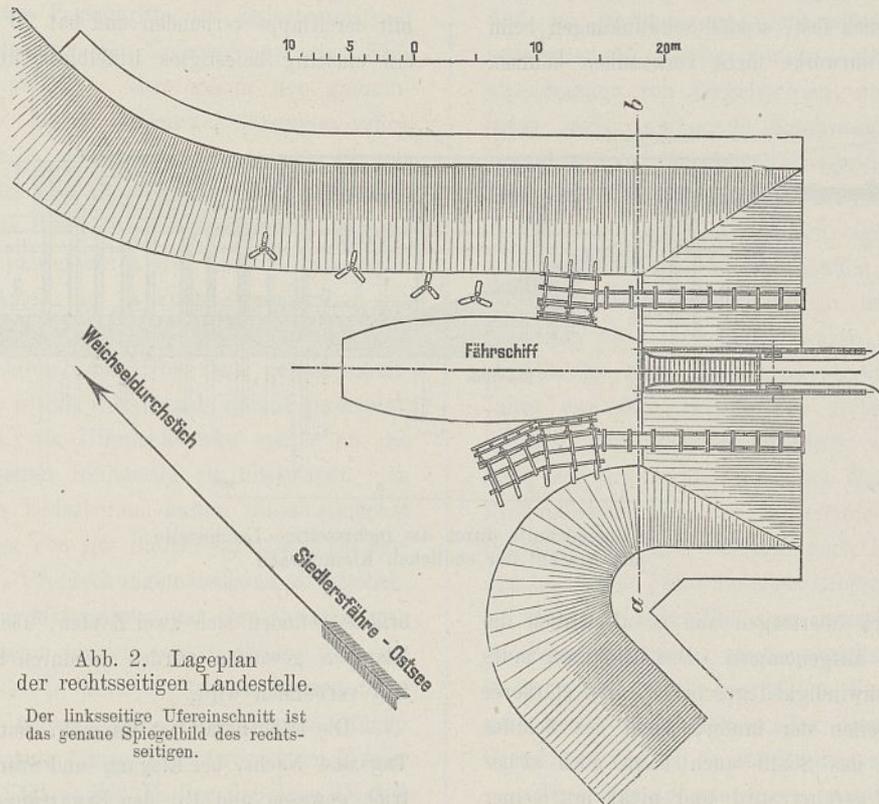


Abb. 2. Lageplan der rechtsseitigen Landestelle. Der linksseitige Ufer einschnitt ist das genaue Spiegelbild des rechtsseitigen.

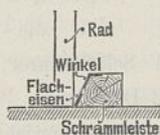


Abb. 3.

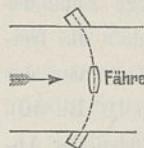
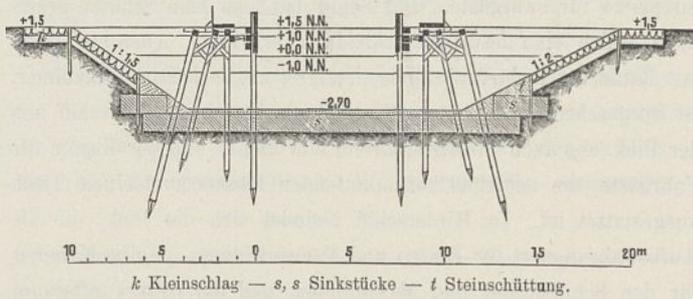


Abb. 4.

der Fähre, welche diese beim Uebersetzen, ohne zu wenden, durchläuft. Die Text-Abb. 2, 5 u. 6 stellen eine Landestelle dar. Diese ist soweit in das Ufer eingeschnitten, daß die festgelegte Fähre nicht mehr von der Strömung gefaßt wird. Die Bö-



l. Kleinschlag — s, s Sinkstücke — t Steinschüttung.

Abb. 5. Schnitt ab (s. Text-Abb. 2).

schungen des Einschnittes sind allseitig abgeplastert. Das Schiff fährt mit seinem vorderen Theil zwischen federnde Wände (Klemmwände) und klemmt sich fest, sodafs Schwankungen beim Auf- und Abfahren der Fuhrwerke nicht vorkommen können.

Jede Klemmwand besteht aus einer einfachen Pfahlreihe, die auf der Innenseite mit Vierkanthölzern von 15 × 15 cm Stärke bekleidet ist und sich mit der Außenseite gegen Buffer lehnt. Durch diese wird der Stofs des einfahrenden Schiffes auf ein kräftiges, aus drei Reihen gut verbundener und verholmter

Pfähle bestehendes Pfahlwerk übertragen und so allmählich die lebendige Kraft des Schiffes aufgenommen. Das Einfahren muß immerhin mit mäfsiger Geschwindigkeit geschehen. Bei stärkerer Strömung wird daher zuweilen der hintere Theil des Schiffes etwas abgetrieben. Damit das Schiff auch dann noch sicher zwischen die Klemmwände geführt wird und nicht mit seiner vorn breiten Plattform gegen die Stirn der oberen Klemmwand fährt und sie beschädigt, schließt sich an diese in stumpfem Winkel eine zweite an, während auf der stromabwärts gelegenen Seite die Führung des Schiffes durch Dalben erfolgt. Den Uebergang vom Schiffe zum Lande und umgekehrt vermittelt die Landebrücke (Abb. 7 bis 12 Bl. 50). Diese besteht aus einer eisernen Klappe mit Bohlenbelag, die um eine in vier kräftigen, mit dem Mauerwerk gut verankerten Lagerböcken ruhende Welle drehbar ist. Der vordere Theil der Brücke hängt an zwei zweiarmigen, auf schmiedeeisernen Böcken gelagerten Hebeln. Es war zunächst in Aussicht genommen, das landseitige Ende der Hebel mit gußeisernen Blöcken so zu belasten, daß die freischwebende Brücke dadurch nicht gehoben wird. In einem der beiden Böcke befindet sich eine Winde (Abb. 9 u. 10 Bl. 50), durch die mit einem nach den beiden belasteten Enden der Ablastungsträger gehenden Drahtseile die Brücke gehoben und dann auf das eingefahrene Schiff herabgelassen werden kann. Zwei gut verankerte Ketten verhindern das gänzliche Herabfallen der Brücke

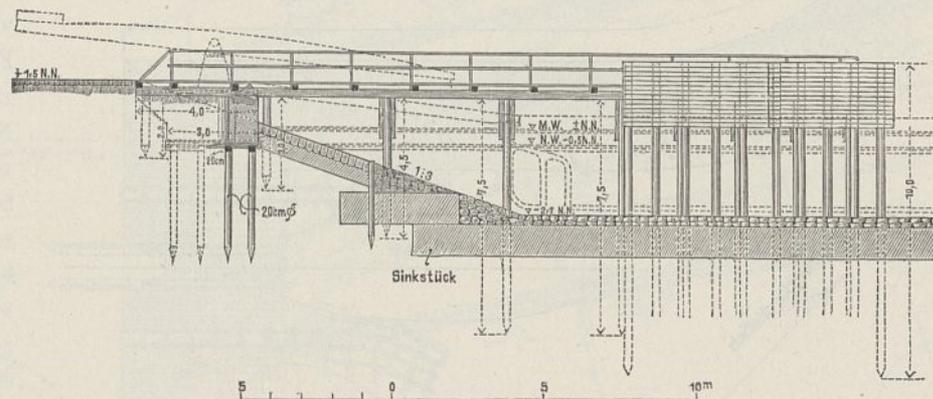


Abb. 6. Längenschnitt durch die rechtsseitige Landestelle mit Ansicht der südlichen Klemmwand.

bei einem Seilbruch. Beim Betriebe hat sich aber gezeigt, daß die Bewegung der Klappe schneller und sicherer mit der Hand als mittels der Winde erfolgt. Zu dem Zweck sind die Ablastungsgewichte so groß gemacht worden, daß die Klappe nicht von selbst sinkt. Ist das Schiff zwischen die Klemmwände gefahren, so treten die beiden Decksleute auf das freie Ende der Klappe, drücken diese dadurch auf das Lagerholz am Schiff und verbinden sie mit diesem. Vor der Abfahrt ist nur die Verbindung zu lösen, sodafs die Klappe mit geringem Kraftaufwand in die gewünschte Höhe gehoben wird. Vermöge der Reibung bleibt sie in jeder Lage stehen. Zur Verhinderung von Beschädigungen des Schiffes oder der Klappe beim zu harten Anfahren ist diese vorn mit einer hölzernen Bufferbohle (Abb. 11 Bl. 50) versehen, die an den vorderen Kanten mit Winkeln, an der unteren Seite mit Blech bekleidet ist und sich mittels sechs Gummibuffer gegen die Klappe stützt. Die Bufferbohle ist durch Schraubenbolzen mit der Klappe verbunden und hat 20 mm Spielraum, der durch ein einseitig befestigtes Riffelblech überdeckt ist. Die Buffer-

bohle legt sich auf ein Lagerholz in einem an der Plattform des Schiffes befindlichen Absatz, sodafs die Brückenfahrbahn und das Schiffsdeck auf gleicher Höhe liegen. Der Zwischenraum zwischen beiden wird durch eine schwach gewölbte, um Zapfen am Schiff drehbare Riffelblechplatte überdeckt. Auf der Lande-

brücke befinden sich zwei Zapfen, über welche am Schiff sitzende Klampen geworfen werden, wodurch das Schiff mit der Brücke fest verbunden wird.

Die Fähranstalt ist nunmehr seit dem Frühjahr 1895 bei Tag und Nacht, bei Eisgang und Sturm ununterbrochen im Betrieb gewesen und hat den Erwartungen in jeder Beziehung voll und ganz entsprochen. In dieser ganzen Zeit hat das Uebersetzen von Fuhrwerken nur eine Stunde lang unterbrochen werden müssen, als bei Nordoststurm das Wasser über das für den Betrieb angenommene höchste Mafs +1 N.N. angestaut worden war. Der Personenverkehr wurde auch dann noch aufrecht erhalten. Eine längere Ausserbetriebsetzung des Fährschiffes wird nur erforderlich, wenn der Schiffskörper gestrichen werden soll. Diese Arbeit wird natürlich nur bei bestem Wetter im Sommer vorgenommen. Der Verkehr wird dann durch eine Seilfähre bewirkt, für deren Einrichtung die erforderlichen Vorkehrungen getroffen worden sind.

Für die Bedienung der Fähranstalt sind erforderlich: 1 Schiffsführer, 1 Steuermann, 1 Maschinist, 1 Heizer und 2 Decksleute. Bei Tag- und Nachtbetrieb, wie er in Schiewenhorst eingerichtet ist, ist natürlich eine entsprechende Vermehrung der Besatzung erforderlich.

Müller, Rudolph,  
Reg.- u. Baurath, Rheinstrombaudirector. Kgl. Bauinspector.

## Der Bau des Kaiser Wilhelm-Canals.

Vom Geheimen Baurath Fülscher in Berlin.

(Mit Abbildungen auf Blatt 51 bis 54 im Atlas.)

(Fortsetzung.)

(Alle Rechte vorbehalten.)

### C. Befestigung der Ufer und Böschungen.

Schon vor dem Verding der Erdarbeiten zur Herstellung des Canals war die Frage erwogen worden, ob es nicht zweckmäßig sei, die zur Sicherung der Uferböschungen gegen den Wellenschlag herzustellenden Deckwerke mit den Erdarbeiten zusammen zu verdingen. Es war vorauszusehen, daß für den Bau der Uferdeckwerke ein besonderer Unternehmer schwer zu gewinnen sein werde, weil dieser in seinem Arbeitsbetrieb immer in einem gewissen Grade von dem nicht im voraus zu übersehenden Fortschritte der Erdarbeiten und von den Betriebseinrichtungen des Unternehmers der Erdarbeiten abhängig sein mußte. Aber gegen den gemeinschaftlichen Verding der beiden Arbeitsausführungen erhob sich das Bedenken, daß es gewagt sein werde, die Einzelheiten der Uferdeckwerke und ihrer Ausführungsweise festzusetzen, bevor über die Beschaffenheit und das Verhalten der abzudeckenden Böschungen ein klarer Einblick gewonnen und die verschiedenen Arten der in Frage kommenden Abdeckungen sorgfältig erprobt waren. Dieses Bedenken wurde für so überwiegend gehalten, daß von dem gemeinschaftlichen Verding abgesehen wurde. Es wurde darauf gerechnet, daß es gelingen werde, die Uferdeckwerke später an die Unternehmer der Erdarbeiten freihändig zu übertragen. In ihren Angeboten auf die Erdarbeiten hatten diese zunächst nur Einheitspreise für das von der Bauverwaltung etwa verlangte Heranschaffen von Uferdeckungsmaterialien abzugeben. Ueber die Lieferung dieser Materialien und ihre Verarbeitung wurde erst in Verhandlungen eingetreten, nachdem über die Ausführung der Deckwerke in allen ihren Einzelheiten feste Bestimmungen getroffen waren, und diese Verhandlungen hatten dann mit wenigen Ausnahmen den gewünschten Erfolg. Nur in den Losen I und VIII und in Theilen der Lose VI, XV und XVI wurden die Deckwerke theils in Selbstbetrieb, theils von besonderen Unternehmern, sonst überall von den Unternehmern der Erdarbeiten ausgeführt.

Natürliche Steine, die zur Ausführung von Uferdeckwerken geeignet waren, wurden bei der Ausschachtung des Canals auf der Strecke von Brunsbüttel bis zu den Ober-eiderseen sehr wenige und auf der weiteren Strecke bis zum Kieler Hafen nur stellenweise in größerer Menge vorgefunden. Sie reichten nirgends auch nur annähernd zur Herstellung der Uferdeckwerke aus, und es mußte deshalb der hierzu erforderliche Steinbedarf zum weitaus größten Theile aus weiterer Entfernung bezogen werden. Ursprünglich war in Aussicht genommen worden, sämtliche Uferdeckungen in Form von sogenannten Steinschlag-Steindecken — Pflasterungen aus schweren gespaltenen Steinen in einer Bettung von Grand oder Steinbrocken — herzustellen, wie solche zur Abdeckung der Flufs- und Meeresufer vielfach mit gutem Erfolge zur Anwendung gekommen sind. Dazu wäre aber nach einer überschlägigen Berechnung ein Material-Aufwand von etwa 600 000 cbm Steine erforderlich gewesen, und es

war zu befürchten, daß die Beschaffung einer so großen Steinmenge unter den vorliegenden Verhältnissen recht schwierig und kostspielig werden würde. So entstand die Frage, ob nicht, um den Bedarf möglichst herabzudrücken, für einen Theil der Uferdeckungen künstliche Baustoffe zur Verwendung kommen könnten. Als solche kamen in Betracht erstlich wetterbeständige Ziegelsteine und ferner Sandbeton, zu dessen Herstellung der erforderliche Sand an manchen Stellen unmittelbar aus dem Canalquerschnitt entnommen und im übrigen aus nicht allzugroßer Entfernung leicht herangeschafft werden konnte. Aber weder über Böschungsabdeckungen von Ziegelsteinen, noch über solche von Sandbeton lagen genügende Erfahrungen vor, um danach ihre Brauchbarkeit für den vorliegenden Zweck mit Sicherheit beurtheilen zu können. Die Bauverwaltung war deshalb darauf angewiesen, sich durch eigene Versuche hierüber die nöthige Aufklärung zu verschaffen.

Mit Ziegelsteinen, die in halbhoher Kante auf einer Kiesunterbettung gepflastert waren, war eine kurze Böschungsstrecke am alten Eidercanal schon im Jahre 1884 — zwei Jahre vor dem Beginn der Arbeiten am Kaiser Wilhelm-Canal — versuchsweise abgedeckt worden, und diese Deckung hatte sich sowohl über als unter Wasser gut gehalten. Weitere Probepflasterungen aus Ziegelsteinen in verschiedenen Ausführungsarten und zugleich auch lose Steinschüttungen wurden im Herbst 1889 an einer Uferstrecke des alten Eidercanals bei Holtenau ausgeführt, um danach festzustellen, welche Art der Ziegelpflasterung als die zweckmäßigste sich erweisen und ob es zulässig sein werde, an Stelle der Pflasterungen aus gespaltenen Steinblöcken oder Ziegeln lose Schüttungen aus Grand und kleinen Sammelsteinen zur Anwendung zu bringen.

Die Ziegelpflasterungen wurden auf  $1\frac{1}{2}$  bis 2 facher Böschungsanlage in zwölf Abtheilungen hergestellt; theils in parallel, theils in rechtwinklig zur Uferlinie verlegten Schichten, theils in Schichten von einem vollen, theils von einem halben Stein Stärke, theils auf einer Bettung von Lehm, von Kies, von reinem grobkörnigen Sand oder von feinem Sand. Sie waren bei dem derzeit sehr lebhaften Verkehr auf dem Eidercanal einer starken Wellenbewegung ausgesetzt, und es zeigten sich bald in den auf Sandbettung liegenden Pflasterstrecken starke Senkungen, weil der Sand durch die Fugen der Pflasterung herausgespült wurde. Die auf Lehm und Kies liegenden Strecken erwiesen sich dagegen als haltbar, namentlich die auf gut gesiebtem, nicht zu feinkörnigem Kies. Bei einer derartigen Unterbettung zeigten sich die  $\frac{1}{2}$  Stein starken Pflasterungen auch fast ebenso haltbar, als die 1 Stein starken.

Nach diesen Versuchsergebnissen war als festgestellt zu erachten:

1. daß eine haltbare Abdeckung der  $1\frac{1}{2}$  fachen Uferböschungen des Canals durch eine Abpflasterung mit wetterbeständigen Ziegelsteinen in 1 Stein oder  $\frac{1}{2}$  Stein Stärke erzielt werden könne;

2. dafs es sich empfehle, die Steine in parallel zur Uferlinie laufenden Schichten einzupflastern;
3. dafs überall da, wo die Böschungen aus festem, zähem Lehm- oder Kleiboden bestehen, es unbedenklich sei, die mit möglichst engen Fugen einzupflasternden Steine unmittelbar auf die Böschungsflächen zu verlegen;
4. dafs dagegen auf sandigen Böschungen die Ziegelpflasterung eine Kiesunterbettung erhalten müsse und zwar, je nachdem die Böschungen aus reinem oder thonhaltigem Sande oder aus sandigem Thon bestehen, in einer Stärke von etwa 15, 10 oder 5 bis 6 cm.

Die mit losen Steinschüttungen gemachten Proben erwiesen sich ebenfalls als recht gut haltbar, wenn sie auf Böschungen von nicht weniger als zweifacher Anlage hergestellt wurden. Auf  $1\frac{1}{2}$  fachen Böschungen sind sie nicht haltbar. Die Proben ergaben ferner, dafs es sich empfiehlt, solche Schüttungen in nicht weniger als 45 bis 50 cm Stärke herzustellen und dafs, um das Ausspülen des Erdreichs zu verhindern, die untere Lage dieser Schüttungen aus feinerem Material — Kies von etwa 2 bis 30 mm Korngröfse — bestehen muß. Zur oberen Lage sind am zweckmäfsigsten Steine im Gewicht von etwa 2 bis 10 kg zu verwenden, die, um nicht durch Wellenbewegung ins Rollen gebracht zu werden, möglichst kantig sein müssen. Findlinge, die meistens sehr abgerundete Kanten haben, sind daher vor ihrer Verwendung mindestens einmal zu spalten.

Ueber Böschungsabdeckungen mit Sandbeton wurden die ersten Versuche in den Trockenausschachtungen des Loses V angestellt. Im Juli 1889 wurde der Versuch gemacht, einzelne Blöcke aus Sandbeton in der Mischung 1:10 herzustellen. Die Stärke sollte 25 cm betragen, und Länge und Breite so bemessen werden, dafs das Versetzen durch höchstens zwei Mann bequem bewerkstelligt werden konnte. Die Fugen zwischen den einzelnen Blöcken sollten zwar dem Grundwasser den Ausflufs gestatten, dagegen den Durchgang des feinen Untergrundsandes verwehren. Demgemäfs erhielten die Blöcke eine Länge von 56 cm und eine Breite von 40 cm; je zwei zusammenstofsende Seiten erhielten Federn,

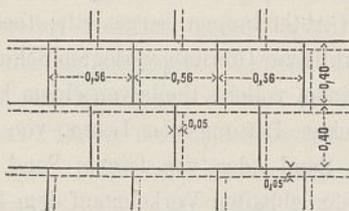


Abb. 64. Oberansicht.

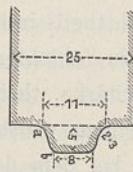


Abb. 65. Querschnitt.

die zwei anderen Nuthen, wie in den Text-Abb. 64 und 65 dargestellt ist. Das Einformen geschah in leicht zu zerlegenden Holzkästen mit der Sichtfläche nach unten, das Einstampfen von der Auflagerfläche aus durch geriffelte Stampfer mittels einer von Hand bewegten Maschine, die bereits bei dem Bremer Freihafen zum Stampfen von Sparbeton verwandt worden war. Bei diesem Verfahren ergaben sich indes verschiedene Uebelstände. Erstlich waren Feder und Nuth mit 5 cm zu tief angenommen; die Flächen *a*, *b*, Text-Abb. 65, verzehrten zu viel von dem Stampferdruck, der untere Theil der Betonkörper erhielt daher an den Aussen-seiten zu wenig Pressung, und es zeigten sich Risse bei *a*. Ferner waren die verwandten Holzformen zu nachgiebig und

mußten in sehr großer Zahl vorhanden sein, um die Blöcke nicht der Gefahr aussetzen zu müssen, beim Herausnehmen wegen noch ungenügender Erhärtung zerstört oder stark beschädigt zu werden. Endlich war das ganze Verfahren wegen der vielen Formen und der Maschinen, wegen des notwendigen Schutzes der noch nicht genügend erhärteten Blöcke gegen Witterungseinflüsse und wegen der doppelten Förderbewegung ziemlich kostspielig und umständlich.

Es wurde deshalb von einer Verwendung der Blöcke sehr bald Abstand genommen und dazu übergegangen, Betontafeln unmittelbar auf der zu deckenden Böschung herzustellen. Zu dem Zweck wurde die Böschung sorgfältig eingeebnet, genäfst und gestampft und, nachdem der in der Unterwasserberme gelegene, noch näher zu beschreibende Vorfuß gesetzt war, der Raum für die in 1,25 m Breite herzustellenden Betontafeln durch zwei seitliche mit Nuth und Feder ver-

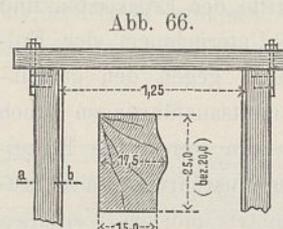


Abb. 66.

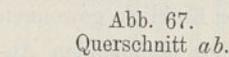


Abb. 67.

Querschnitt *ab*.

sehene Rahmhölzer und durch ein oberes glattes, leicht abnehmbares Querholz begrenzt. (Siehe hierzu die Text-Abb. 66 und 67). Der im Verhältniß von 1 Theil langsam bindendem Cement zu 8 Theilen Sand gemischte Beton wurde von unten nach oben eingebracht, von Hand mittels Holzstampfern geschlagen und schliesslich mit einer Mischung 1:6 mittels Richtscheit und Kelle abgeglichen. Nach etwa zweitägigem Erhärten wurden die Rahmen abgenommen und nach weiteren sechs Tagen in die zwischen je zwei zuerst angefertigten Tafeln verbliebenen Zwischenräume von ebenfalls 1,25 m Breite ganz in derselben Weise, wie in die Holzrahmen Betontafeln eingestampft. Vor dem Einbringen dieser letzteren erhielten die Seitenflächen der älteren Tafeln einen Lehm-anstrich, um ein festes Aneinanderhaften in den Fugen zu verhindern und die einzelnen Tafeln soweit beweglich zu erhalten, dafs sie den nicht immer zu vermeidenden kleinen Verdrückungen oder Setzungen in den Böschungen, wenn solche noch nach der Herstellung der Betondecke eintraten, folgen konnten. Gegen die Witterungseinflüsse wurden die Tafeln, solange das Canalbett noch nicht mit Wasser angefüllt war, durch eine übergebrachte Sandschicht gedeckt. Die Putzschicht in der Mischung 1:6 wurde bald weggelassen, weil sie sich mit dem unteren Körper von der Mischung 1:8 schlecht verband, daher bei langem Trockenliegen der Böschung leicht abblätterte, und weil auch der Beton im Mischungsverhältniß 1:8 schon nach wenigen Wochen so hart geworden war, dafs das Abputzen der Oberfläche mit einem besseren Mörtel augenscheinlich keinen Nutzen haben konnte. Um Kosten zu ersparen, wurde die anfänglich zu 25 cm angenommene Stärke der Betontafeln später auf 20 cm herabgesetzt.

Angaben über den Materialbedarf bei Anfertigung der Betonplatten nach Einzelfeststellungen, mit denen die allgemeinen Beobachtungen übereinstimmen, enthält die nachstehende Tabelle.

Die Kosten der 20 cm starken Betonplatten stellten sich auf 3,5 bis 4,4  $\mathcal{M}$  für 1 qm, je nachdem der Sand unmittelbar an der Verwendungsstelle entnommen werden konnte oder aus größerer Entfernung herbeigeschafft werden mußte.

**Materialien-Verbrauch**

bei der Bereitung von Sandbeton [1:8] für die Uferdeckung bei km 23,8.

Tag	Hergestellter fester Beton		Cementverbrauch Portland-Cement von Alsen				Sandverbrauch [im Mefskasten gemessen] cbm	Loser Beton [in Muldenkippern gemessen, annähernd] cbm	1 cbm fester Beton erfordert			Bemerkungen
	a Platten zu 0,783 cbm Anzahl	b Feste Masse cbm	Säcke zu i. M. 86,5 kg Reingew. Anzahl	kg	Cement lose im Kasten gemessen cbm	mithin wiegt 1 cbm loser Cement kg			Cement kg	Sand cbm	losen Beton cbm	
22. 6. 1891	17 <sup>1</sup> / <sub>3</sub>	13,57	33	2855	2,01	1420	16,10	18,0	210	1,18	1,33	{ Betonbereitung mit Mörtelmaschine } außerdem 17 Tagesschichten desgl. 18 „ desgl. 18 „ desgl. 17 „ Durch mehrfache Arbeitsunterbrechungen Verlust an Beton.
24. 6. 1891	16	12,53	33	2855	1,95	1464	15,57	17,2	228	1,24	1,37	
29. 6. 1891	14	10,96	30	2595	1,92	1352	15,36	15,3	237	1,40	1,40	
3. 7. 1891	19	14,88	36	3114	2,33	1337	18,67	18,4	209	1,25	1,24	
zusammen im Mittel	66 <sup>1</sup> / <sub>3</sub> 16,58	51,94 12,99	132 33	11419 2855	8,21 2,05	— 1392	65,70 16,43	68,9 17,23	884 221	5,07 1,27	5,34 1,34	
									= 0,159cbm 1,27 cbm 1,34 cbm			
									1:8			

Zu so billigen Preise konnte keine der früher beschriebenen Abdeckungen hergestellt werden, weder die Pflasterung aus gespaltene Steinen oder Ziegeln, noch die Schüttung aus Grand und kleineren Findlingen. Die Betonabdeckung hat im Vergleich mit diesen letzteren Abdeckungsarten nur den Nachtheil, dass sie nicht wetterbeständig und daher an den über Wasser liegenden Böschungflächen füglich nicht zu verwenden ist. Ihre Verwendung mußte deshalb auf die unter dem niedrigsten Canalwasserstande liegenden Flächen beschränkt werden, und für diese wurde sie in der Folge — mit ganz geringen Ausnahmen — überall da angeordnet, wo die abzudeckenden Böschungen in ihrer ganzen Höhe durch Trockenausschachtung freigelegt waren.

Welche Stoffe zu den über Niedrigwasser gelegenen Theilen der Uferdeckwerke verwandt werden sollten, hing ab von ihrer Verfügbarkeit und von der Zugänglichkeit der einzelnen Baustellen zur Zeit der Ausführung. Für die Pflasterungen kamen in Betracht: Klinker aus Oldenburg, von der oberen Elbe und aus einigen Ziegelsteinen der Provinz Schleswig-Holstein, Granitfindlinge aus dem Canal selbst, sowie aus seiner näheren Umgebung und aus der Ostsee, wo sie in großen Mengen gefischt wurden, Granitbruchsteine und Sandsteine aus Sachsen, Basaltbruchsteine vom Rheine. Die zur Unterbettung der Pflasterungen und zu den Schüttungen erforderlichen Baustoffe — Kies, Grand, Ziegelbrocken und kleinere Findlinge — konnten zum weitaus größten Theile aus der näheren Umgebung des Canals beschafft werden.

Die hiernach in den verschiedenen Baustrecken zur Ausführung gekommenen Uferdeckungen lassen sich in fünf Grundquerschnitte zusammenfassen, die in den Textabbildungen 68 bis 72 dargestellt sind.

Text-Abb. 68 zeigt eine ganz aus Ziegelsteinen hergestellte Pflasterung. Sie ist in dem Lose I, zwischen dem Brunsbütteler Binnenhafen und km 3,87 zur Ausführung gekommen, wo der zur Herstellung von Betonplatten erforderliche Sand nur mit großen Kosten hätte herbeigeschafft werden können, die an Stelle der Platten verwandten Ziegelsteine dagegen in der neben der Schleusenbaustelle errichteten Ziegelei zu einem billigen Preise zur Verfügung standen.

Die Text-Abb. 69 u. 70 zeigen die Böschungsabdeckungen, deren unter Niedrigwasser liegende Theile aus Betonplatten und deren obere Theile entweder aus einer Klinkerpflasterung oder aus einer Pflasterung von gespaltene Steinen besteht.

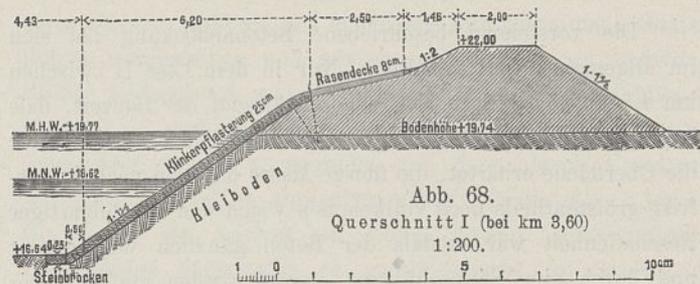


Abb. 68. Querschnitt I (bei km 3,60) 1:200.

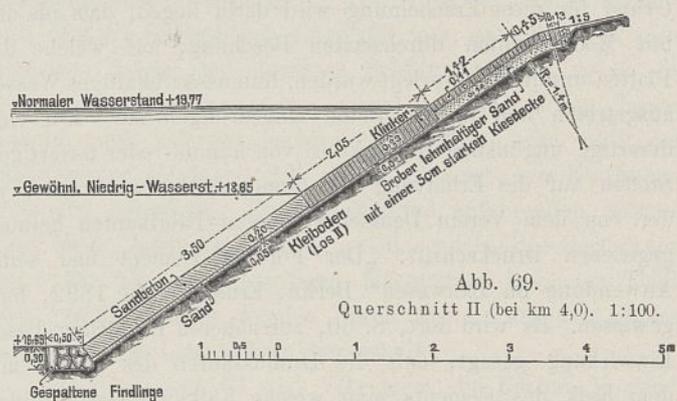


Abb. 69. Querschnitt II (bei km 4,0). 1:100.

Die Betonplatten wurden, wie in den Zeichnungen angegeben ist, im allgemeinen unmittelbar auf die geebnete oder durch eine dünne Sandschicht abgegliche Böschungfläche verlegt. Ihre fast gänzliche Undurchlässigkeit gegen Wasser machte es indes nothwendig, bei ihrer Herstellung auf die Grundwasserverhältnisse gebührend Rücksicht zu nehmen und Vorsorge zu treffen, dass das Grundwasser unter den Platten unschädlich abfließen kann. An Stellen, wo noch während der Ausführung der Tafeln reichlich Grundwasser ausströmte, auf dessen späteres Versiegen dann auch nicht mehr zu rechnen war, hätten die Tafeln eine Kiesunterbettung erhalten müssen, durch die das Wasser in den aus gespaltene Findlingen hergestellten Vorfuß abfließen konnte. Zur größeren Sicherheit wurde die Betonabdeckung an solchen Stellen meist ganz

weggelassen und durch eine Steinpackung oder Pflasterung ersetzt. An anderen Stellen, wo das Grundwasser nur mäfsig und in Form einzelner kleiner Quellen ausflofs, wie z. B. da, wo Sand auf einer Thon- oder Mergelschicht ruhte, wurden nach Bedarf Sickerungen eingelegt und bis zu dem Steinvorfufs hinabgeführt. Aber auch im reinen Sand, wo bei der Ausführung der Platten alles Grundwasser verschwunden war, mußte darauf gerechnet werden, dafs es später wieder auftreten konnte. Es mußte dann seinen Ausweg ebenfalls durch den Vorfufs nehmen, und dieser, der bei den ersten Ausführungen überall nur aus groben Steinen hergestellt wurde, erhielt später zur Vergrößerung des Ausflufsquerschnittes und um das Austreten von Sand zu verhüten, stellenweise noch eine Unterbettung aus Kies, wie in dem Querschnitt, Text-Abb. 70, angedeutet ist.

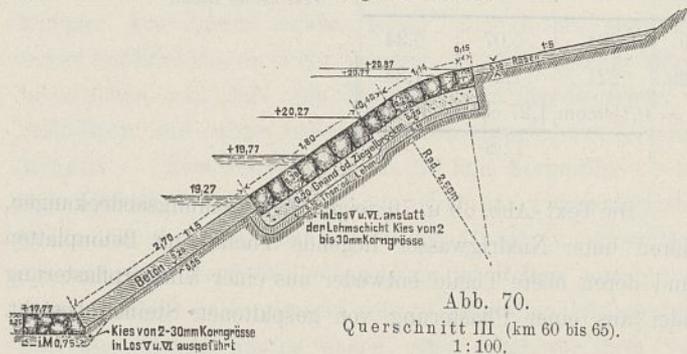


Abb. 70.  
Querschnitt III (km 60 bis 65).  
1:100.

Die vorstehend beschriebene Betonabdeckung hat sich im allgemeinen gut gehalten. Nur in dem Lose II zwischen km 4,8 und 5,4 zeigte sich schon während der Bauzeit, dafs bei einer gröfseren Anzahl der hier ausgeführten Platten nur die Oberfläche erhärtet, die übrige Masse dagegen nach Jahresfrist gröfstentheils noch vollkommen weich und von teigartiger Beschaffenheit war, sodafs der Beton gänzlich weggeräumt und durch eine Steinschüttung ersetzt werden mußte. Der Grund für diese Erscheinung wird darin liegen, dafs aus der mit Moorschichten durchsetzten Böschung, auf welche die Platten unmittelbar verlegt wurden, humussäurehaltiges Wasser ausgetreten und in den Beton eingedrungen ist. Auf eine derartige ungünstige Einwirkung von humus- oder torfartigen Stoffen auf die Erhärtung von Cementmörtel wird schon in der von dem Verein Deutscher Cement-Fabrikanten herausgegebenen Druckschrift: „Der Portland-Cement und seine Anwendung im Bauwesen“ Berlin, Ernst Toeche 1892, hingewiesen. Es wird dort, S. 60, zur näheren Erklärung dieser Einwirkung gesagt, dafs die Humussäuren des Torfes mit dem Kalk des Cements eine weiche Kalkhumusseife bilden und dafs 4 bis 5 v. H. Humus oder Torf genügen, um die Erhärtung des Cements zu verhindern. — In der Strecke von km 30,9 bis 32,7 bei Grüenthal war ein Theil der hergestellten Deckwerke während des Winters 1890/91 ohne Wasserbedeckung dem Frost ausgesetzt. Dabei wurden die Betonplatten da, wo sie auf Mergelboden auflagen, etwas gehoben und erhielten, weil sie am unteren Ende durch den Vorfufs fest eingespannt waren, wagerechte oder wenig geneigte Risse. Nach völligem Aufthauen gingen indes die Platten wieder zurück und die Risse schlossen sich, sodafs sie für die fernere Haltbarkeit der Abdeckung völlig unschädlich waren.

In den über Wasser liegenden Theilen der vorbeschriebenen Abdeckungen haben sich sowohl die Klinkerpflaste-

rungen, wie die Pflasterungen aus gespaltenen Findlingen und Bruchsteinen im allgemeinen gut gehalten. Einige Beschädigungen sind nur vorgekommen in dem Klinkerpflaster an solchen Stellen, wo die Steine ohne oder mit nur schwacher Kiesunterlage verlegt worden waren, und in dem Pflaster aus natürlichen Steinen auf einigen aus Sandboden bestehenden Böschungsstrecken, wo zur Unterbettung nur gröberer Grand verwandt worden war und die zur Verhütung von Sandausspülungen bestimmte Lehm- oder Kiesschicht fehlte. Es zeigte sich in diesen Strecken sehr bald, dafs bei sandigen Böschungen die Lehm- oder Kiesabdeckung zur Herstellung einer haltbaren Steindecke unentbehrlich ist. In der Klinkerpflasterung waren nennenswerthe Beschädigungen nur vorgekommen im Los I, wo das Pflaster unmittelbar auf der Böschung lag und wo die Böschung zum Theil aus sehr sandigem Klei bestand. Hier wurde in den Winterstürmen 1894, als der Canal schon mit Wasser angefüllt war, der sandige Klei durch die Einwirkungen des Wellenschlags stellenweise derartig ausgewaschen, dafs die Steine in gröfseren Gruppen versackt waren. Sie mußten deshalb an solchen Stellen aufgenommen und, um ähnliche Beschädigungen für die Zukunft zu verhüten, mit einer Kiesunterlage neu verlegt werden. Wo die Böschung aus fettem — wenig sandhaltigem — Klei bestand, waren solche Beschädigungen nicht eingetreten. Im Laufe der Zeit haben sich noch die Fugen in dem Pflaster durch Moos und Pflanzenwuchs so dicht geschlossen, dafs damit eine weitere Sicherheit gegen Bodenausspülungen unter der Pflasterdecke gewonnen ist. — In den Losen II und III, wo die Klinkerpflasterungen ebenfalls auf Kleiböschungen liegen, waren in den ersten Jahren nach ihrer Herstellung kleinere Beschädigungen dadurch verursacht worden, dafs die Pflasterungen sich bei starkem Frost durch das Auffrieren des Kleibodens gehoben hatten, in ähnlicher Weise, wie vorhin schon bezüglich eines Theils der Betonplatten-Abdeckung erwähnt worden ist. Die Pflasterungen waren nach dem Aufthauen des Bodens zwar wieder zurückgegangen, aber es waren dabei doch einzelne Steine und mitunter auch kleinere Gruppen von Steinen versackt. Doch waren diese Beschädigungen ebenso wie bei den aufgefrorenen Betonplatten so unbedeutend, dafs irgend welche Ausbesserungsarbeiten meist nicht für nöthig gehalten wurden.

Die Text-Abb. 71 und 72 stellen Uferabdeckungen dar, die entweder ganz oder zum Theil aus losen Steinschüttungen bestehen. Sie kamen zur Anwendung auf den

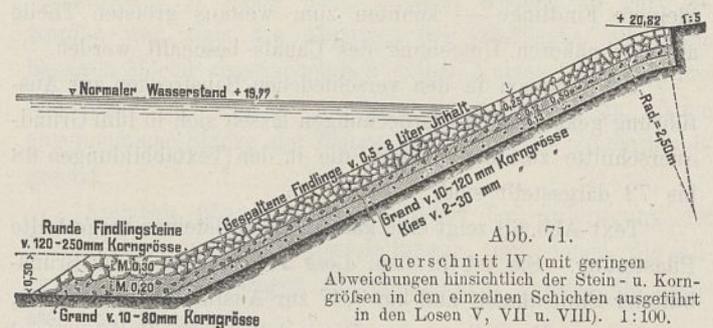


Abb. 71.  
Querschnitt IV (mit geringen Abweichungen hinsichtlich der Stein- u. Korngrößen in den einzelnen Schichten ausgeführt in den Losen V, VII u. VIII). 1:100.

Strecken, in denen die abzudeckenden Böschungen erst fertig wurden, nachdem der Canal schon mit Wasser angefüllt war; die Abdeckung nach Text-Abb. 71 in der Burg-Kudenseer Niederung, sowie in den Niederungen der Gieselau und der

Eider, die nach Text-Abb. 72 im Gebiete des alten Eidercanals. Die aus losen Steinschüttungen zu deckenden Böschungen erhielten überall eine zweifache Anlage, weil, wie schon früher erwähnt wurde, die angestellten Versuche ergeben hatten, daß solche Abdeckungen in steilerer Böschung nicht haltbar sind. Die Gesamtstärke der Schüttungen wurde überall zu 0,50 m angenommen. Bei Querschnitt V wurde aber, wie in der Text-Abb. 72 angedeutet ist, theils schon während, theils unmittelbar nach der Ausführung noch eine Berme in 25 bis 30 cm Stärke vorgeschüttet, um den Fuß der Pflasterung in verstärktem Maße gegen Unterspülungen zu sichern. Der Beschaffenheit des Bodens, aus dem die zu deckende Böschung bestand, wurde durch besondere Auswahl des Deckmaterials Rechnung getragen. Auf sandigem Grunde, wie an den Sanddämmen, die durch die Moorniederungen geschüttet waren, und in größeren Strecken des Gieselauthales und des Eiderthales bestand die Decke, wie Text-Abb. 71 zeigt, aus drei Lagen: einer unteren Lage Kies von 2 bis 30 mm Korngröße, oder aus grobkörnigem, mit kleinen Steinen gemischten Sand, einer mittleren Lage Grand von 10 bis 120 mm Korngröße und einer oberen Lage von gespaltenen Steinen von 0,5 bis 8 l Inhalt. Auf moorigem Grunde, wie im unteren Gieselauthal, oder auf Lehmboden, wie im Gebiet des alten Eidercanals, wurde die Kieslage, die im wesentlichen den Zweck hatte, sandige Böschungen gegen Ausspülungen zu sichern, weggelassen und die Schüttung nur aus zwei Lagen, aus Grand und gespaltenen Steinen gebildet.

Die in Text-Abb. 72 dargestellte Decke, die nur in dem unter Niedrigwasser liegenden Theil aus losen Stein-

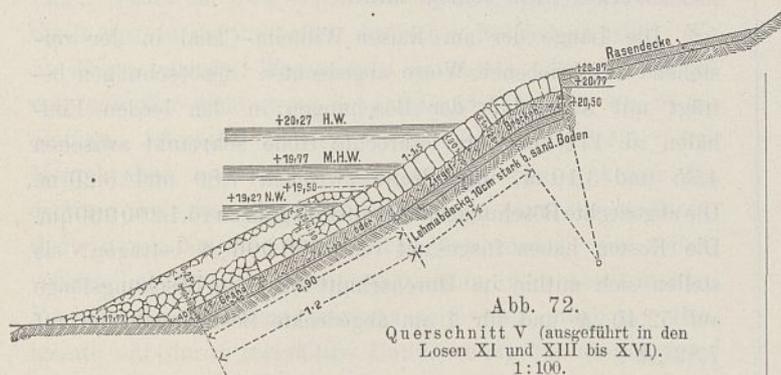


Abb. 72.  
Querschnitt V (ausgeführt in den  
Losen XI und XIII bis XVI).  
1:100.

schüttungen und im übrigen aus Pflasterung besteht, wurde in dem Gebiet des alten Eidercanals überall da ausgeführt, wo die Herstellung und Abdeckung der Böschungen im trockenen nach dem Verlauf der Erdarbeiten zur Herstellung des Canalquerschnittes nicht möglich war. Viele Böschungsstrecken in diesem Theil des Canals und darunter mehrere von großer Ausdehnung waren nach den Querschnitten Abb. 69 und 70 im trockenen abgedeckt worden, unten mit Betonplatten, oben mit einer Pflasterung aus Klinkern oder gespaltenen Steinen. Um nun in den über Niedrigwasser liegenden, meist sichtbaren Theilen der Abdeckungen keine allzugroße Unregelmäßigkeit hervortreten zu lassen, wurde die Pflasterung des oberen Theils der Böschungen auch in den Zwischenstrecken durchgeführt, wo mit der Herstellung der Deckwerke erst vorgegangen werden konnte, nachdem der Canal schon mit Wasser angefüllt war. Der Arbeitsvorgang vollzog sich in der Weise, daß, sobald eine Böschungsstrecke

planmäßig abgeglichen war, zunächst die Schüttung bis zur Niedrigwasserhöhe und dann die Pflasterung hergestellt wurde. Die Schüttungen konnten unabhängig von der jeweiligen Höhe des Canalwasserstandes vorgenommen werden, die Verlegung des unteren Theiles der Pflasterung bis zur Mittelwasserhöhe erforderte dagegen einen niedrigen Canalwasserstand, wie solcher dadurch herbeigeführt werden konnte, daß die unter Capitel III, B, Abschnitt b Seite 123 u. f. erwähnte, neben der Eidercanalschleuse bei Holtenau erbaute zweite Schiffahrtsschleuse zugleich als Entwässerungsschleuse eingerichtet war und als solche benutzt wurde. Jeder niedrige Wasserstand im Kieler Hafen hatte deshalb eine entsprechende Senkung des Wasserstandes im Canal zur Folge, und diese Senkungen erreichten nicht selten solche Tiefe, daß der Fuß der Pflasterung wasserfrei wurde und die unteren Steine bis zur Mittelwasserhöhe im trockenen verlegt werden konnten. Die Herstellung der Pflasterung über Mittelwasser hatte keinerlei Schwierigkeiten, weil Wasserstände von solcher Höhe, daß diese Arbeiten dadurch gestört wurden, selten eintraten und jedenfalls nur von kurzer Dauer waren.

Das Verschütten der Steine in die unter Wasser herzustellenden Deckungen wurde von schwimmenden Gerüsten aus bewerkstelligt. Diese Gerüste waren in den verschiedenen Losen, wo sie zur Anwendung kamen, hinsichtlich ihrer Zusammensetzung ungleich gestaltet, sie stimmten aber alle darin überein, daß sie mit einem aus lose zusammengesetzten Bohlen hergestellten und mit einem Bretterrahmen umfaßten Boden ausgestattet waren, auf dem das zu verschüttende Material — und zwar jede Sorte für sich — in der vorgeschriebenen Stärke ausgebreitet und dann durch Umkanten der einzelnen Bohlen abgestürzt wurde. In den Abb. 7 bis 10 Bl. 35 ist ein solches auf leeren Fässern schwimmendes Schüttgerüst dargestellt; es wurde benutzt im Gebiet der Burg-Kudenseer Niederung. Die Höhe des Bretterrahmens, mit dem der Gerüstboden eingefast war, entsprach der planmäßigen Stärke der einzelnen Schüttungslagen, sodafs die richtige Materialverwendung sowohl der Art als dem Rauminhalte nach jederzeit leicht zu überwachen war. Mit den Schüttungen wurde wie Abb. 10 Bl. 35 zeigt, vom Böschungsfuß aus begonnen. Die das Material anfahrenen Schuten oder Ewer legten unmittelbar an die canalseitige Gerüstkante an. Die über dem jeweiligen Wasserstand liegenden Theile des Uferdeckwerkes wurden durch Anwurf aus den Förderschiffen nach Lattenlehren hergestellt.

In den Losen VI und VIII lagen die Kästen, in denen das Material vor der Verschüttung ausgebreitet und abgemessen wurde, auf Balkenträgern, die von den Schuten oder Ewer, in denen das Material angefahren wurde, nach den Ufern gestreckt und dort entweder unmittelbar auf die Böschungskante, oder auf einen mit Laufrädern versehenen

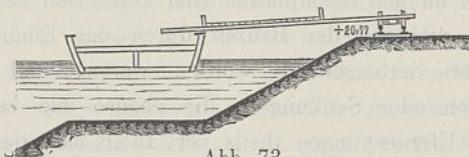


Abb. 73.

Holzrahmen gelegt waren. Letzterer wurde, wie in Text-Abb. 73 angedeutet ist, auf einem unmittelbar hinter der Böschungskante verlegten Gleis fortbewegt. Die Art der

Schüttung war im übrigen ganz dieselbe, wie bei dem vorher beschriebenen Gerüst.

In den ganz aus losen Steinschüttungen hergestellten Deckwerken blieb die oberste Lage, soweit sie bei Niedrigwasser sichtbar wird, theils in dem rauhen Zustand liegen, wie sie durch Schüttung und Anwurf hergestellt worden war, also grössere und kleinere Steine durcheinander, theils wurde noch eine Einebnung der Oberfläche in der Weise vorgenommen, daß die in der obersten Lage vorhandenen größeren Steine ausgesondert und fest zusammengepackt wurden. Diese Deckwerke bekamen dadurch ein ähnliches Aussehen, wie die aus größeren gespaltenen Steinen hergestellten Pflasterungen. Von einer derartigen Behandlung der oberen Lage wurde überall da abgesehen, wo nach der Beschaffenheit des Untergrundes noch auf eine längere Zeitdauer Setzungen zu erwarten waren, und deshalb darauf gerechnet werden mußte, daß zur ordnungsmäßigen Unterhaltung der Steindecke sehr bald Nachschüttungen erforderlich sein würden. Unter solchen Verhältnissen würde eine Einebnung der Oberfläche in der gedachten Weise nicht nur keinen Werth gehabt, sondern nur dazu geführt haben, die Unterhaltungsarbeiten zu erschweren und zu vertheuern.

Größere Beschädigungen sind bisher an den geschütteten Steindecken so wenig vorgekommen, wie an den gepflasterten; sie alle haben in den anderthalb Jahren, die nun schon seit der Eröffnung des Canalbetriebes verflossen sind, die Probe auf ihre Haltbarkeit gut bestanden. Die schon bei den Erdarbeiten erwähnten Abrutschungen der Ufer, die an verschiedenen Canalstrecken durch Aufquellen und Austreiben des feinen Untergrundsandes herbeigeführt wurden und die, wie es nicht anders sein konnte, eine Zerstörung der bereits fertig hergestellten Abdeckungen zur Folge hatten, waren von der gewählten Art der Uferdeckung im wesentlichen unabhängig, und die eingetretenen Zerstörungen können daher nicht als Folgen der ungenügenden Haltbarkeit der Deckungen angesehen werden. Dasselbe gilt von den hin und wieder eingetretenen kleineren Senkungen und Abrutschungen, die dadurch entstanden sind, daß die Berme am Fuß der Steindecken da, wo sie aus feinem Sand oder anderen leicht beweglichen Bodenarten bestand und vor der Betriebseröffnung nicht oder nicht genügend mit Grand oder Steinen abgedeckt war, durch die bei der Durchfahrt größerer Schiffe entstehenden Uferströmungen weggespült wurde. Die Steindecken verloren dadurch am Fuß ihren Stützpunkt und mußten deshalb abrutschen oder allmählich nachsinken; in welcher Art und aus welchem Material sie hergestellt waren, kam dabei wenig in Betracht. Wo solche Bewegungen eintraten, wurde die Berme durch Grand- und Steinschüttungen wiederhergestellt und dadurch zugleich gegen weitere Abspülungen gesichert.

Auch an den Betonplatten sind außer den Zerstörungen, die schon während der Bauzeit durch das Eindringen von Moorwasser herbeigeführt worden waren, und den Abrutschungen oder Senkungen, die ebenso wie bei anderen Arten der Uferdeckungen theils vor, theils nach der Betriebseröffnung durch Rutschungen oder Abspülungen in den Erdböschungen veranlaßt sind, bisher keinerlei Beschädigungen bemerkt worden. Insbesondere ist gegenüber der von verschiedenen Seiten laut gewordenen Befürchtung, es könne

das durch den Canal fließende salzhaltige Ostseewasser zerstörend auf die Platten einwirken, noch zu bemerken, daß bisher keinerlei Anzeichen hervorgetreten sind, die diese Befürchtung als begründet erscheinen lassen.

Demnach können alle vorstehend näher beschriebenen Arten der Uferdeckung unter ähnlichen Verhältnissen, wie am Kaiser Wilhelm-Canal, für spätere Bauausführungen empfohlen werden. Nach den gemachten Erfahrungen ist nur, wie hier noch einmal kurz hervorgehoben werden soll, zu beachten:

- a) bei den Abdeckungen mit Betonplatten, daß diese thunlichst gegen Einwirkungen des Frostes, ganz besonders aber gegen Eindringen von Moorwasser (Humussäure) geschützt werden, und daß durch Einlegung von Sicherungen oder nöthigenfalls durch eine Kiesunterbettung Vorsorge getroffen wird, daß austretendes Grundwasser unter den Platten unschädlich abfließen kann,
- b) bei den Klinkerpflasterungen, daß sie auf Böschungen von Sand oder sandhaltigem Thon- oder Kleiboden eine Kiesunterlage erhalten, damit ein Auswaschen von Sand durch die Fugen des Pflasters verhindert wird,
- c) bei den Pflasterungen aus Bruchsteinen oder gespaltenen Findlingen, daß sie auf sandigen Böschungen außer dem größeren Material, in welches die Pflastersteine verlegt werden — Grand, Steinschlag oder Ziegelbrocken —, noch eine etwa 10 cm starke Thon- oder Kiesunterbettung erhalten müssen, ebenso und aus demselben Grunde, wie die Klinkerpflasterungen,
- d) daß diese Thon- oder Kiesabdeckung auf Sandböschungen auch bei den aus geschütteten Steinen hergestellten Deckwerken nicht fehlen darf.

Die Länge der am Kaiser Wilhelm-Canal in der vorstehend beschriebenen Weise abgedeckten Uferböschungen beträgt mit Ausschluß der Böschungen in den beiden Endhäfen rd. 179 km, ihre lothrechte Höhe schwankt zwischen 4,35 und 3,10 m, ihre Breite zwischen 7,80 und 6,20 m. Die abgedeckte Böschungsfäche mißt im ganzen rd. 1 200 000 qm. Die Kosten haben insgesamt rd. 9 380 000 *M* betragen, sie stellen sich mithin im Durchschnitt für 1 m Böschungslänge auf 52,40 *M* und für 1 qm abgedeckte Böschungsfäche auf 7,82 *M*.

Schon während des Erdaushubs zur Herstellung des Canalquerschnittes trat an verschiedenen Stellen die Nothwendigkeit hervor, zur Sicherung der Böschungen weitere Steinabdeckungen vorzunehmen, als ursprünglich vorgesehen waren. Die vorstehend beschriebenen, von vornherein als nothwendig erkannten Abdeckungen bis herab auf die Unterwasserberme hatten nur den Zweck, die Ufer gegen Zerstörungen durch den Wellenschlag zu schützen, und waren, wie des näheren dargelegt worden ist, dafür auch genügend. Es zeigte sich aber bald, nachdem der Canal bis auf größere Tiefen ausgehoben war, oder bei einigen im trockenen ausgehobenen Strecken, nachdem Wasser eingelassen war, daß auch die unter der Unterwasserberme liegenden Böschungen zum großen Theil einer Abdeckung bedurften. Dies war insbesondere da der Fall, wo die Böschungen aus einem sehr feinkörnigen Sande bestanden, wie auf langen Strecken in den Losen V und VI zwischen km 18 und 32, in den Losen VIII und IX zwischen km 48 und 65 und in dem

Einschnitt bei Sehestedt km 73 bis 76. In diesem Boden konnte der Canalquerschnitt im trockenen meist ohne Schwierigkeiten ausgehoben werden, unter Wasser aber wurde der Sand in seinen oberen Schichten völlig breiartig, sodafs er in zweifacher Böschung nicht mehr stand und schon durch die geringste Wellenbewegung oder Strömung zum Ausfließen gebracht wurde. Daraus entstanden dann die schon erwähnten kleinen Abrutschungen, die eine Zerstörung der Unterwasserberme und oft auch ein Nachsinken der bereits fertigen Uferdeckung zur Folge hatten. Die ersten Vorkommnisse dieser Art traten schon ein, als auf dem Canal nur noch die kleinen zum Arbeitsbetriebe gehörigen Fahrzeuge verkehrten und keine Strömung vorhanden war. Sie mußten daher, wenn man sich die starken Wasserbewegungen vergegenwärtigte, die nach der Betriebseröffnung bei der Durchfahrt großer Schiffe und aus der planmäßigen Wasserabführung durch die Brunsbütteler Schleuse entstehen würden, ernste Bedenken erregen und führten sehr bald zu der Erkenntniß, daß zur Erhaltung der zweifachen Böschungen und der als Stützpunkt für den Fuß der Uferdeckung unentbehrlichen Berme sehr umfangreiche Abdeckungen dieser Querschnitttheile nicht zu vermeiden sein würden. Nach den gemachten Erfahrungen wurde als feststehend angesehen, daß überall da, wo der feinkörnige Sand in den Einschnitten anstand, die ganze Unterwasserberme und die an diese sich anschließende zweifache untere Böschung unter allen Umständen abgedeckt werden müsse. In den Trockenausschachtungen, wo die Schichtenlinien an den Böschungen deutlich erkennbar waren, wurde die Abdeckung in der Regel bis an die in sehr ungleicher Tiefe anstehende Mergelschicht hinuntergeführt, sodafs der Fuß der Abdeckung theils in der zweifachen, theils erst in der untersten dreifachen Böschung auslief. Wo in dieser letzteren Wasseradern austraten, oder der Mergel erst auf oder dicht unter der Canalsole anstand, wurde die dreifache Böschung in ihrer ganzen Breite abgedeckt. Der Mergel selbst war in der Regel so fest, daß er keiner Abdeckung bedurfte. In den Strecken, die ganz oder größtentheils durch Nafsagger ausgeschachtet wurden, war selbstverständlich eine so genaue Abgrenzung der abzudeckenden Flächen, wie bei dem Trockenaushub nicht möglich. Hier konnte nur durch sorgfältige Untersuchung des ausgebagerten Bodens und durch Peilungen streckenweise festgestellt werden, ob die Unterwasserberme und die zweifache Böschung im großen und ganzen ohne Abdeckung genügend haltbar waren, oder nicht. Wo hier noch eine Abdeckung nöthig war, wurde sie in der Regel der Breite nach über die ganze Berme und die ganze zweifache Böschung ausgedehnt, sodafs der Fuß der Abdeckung noch in den oberen Theil der dreifachen Böschung einschnitt.

Als Material für die vorgedachten Abdeckungen wurden Kies und Grand verwandt, von derselben Beschaffenheit, wie zu den beiden unteren Lagen der nach Text-Abb. 71 hergestellten Uferdeckwerke, der Kies als untere, der Grand als obere Lage. Der Kies war ebenso wie bei den Uferdeckungen auf sandigen Böschungen unentbehrlich, um bei dem Austritt von Grundwasser den Sand zurück zu halten; der den Kies überdeckende gröbere und schwerere Grand war nöthig, um der Böschung eine vermehrte Sicherheit gegen Abrutschungen und einen wirksamen Schutz gegen Strom-

angriffe zu geben. In den Trockenausschachtungen, wo die Abdeckung überall genau in der vorgeschriebenen Stärke hergestellt werden konnte, wurde für jede der beiden Lagen eine Stärke von 12 bis 15 cm für ausreichend gehalten und nur an einzelnen Stellen, wo starke Wasseradern austraten, oder wo Abrutschungen besonders zu befürchten waren, darüber hinausgegangen. In den mit Nafsaggern ausgehobenen Strecken dagegen, wo die Abdeckungen unter Wasser hergestellt werden mußten und daher nicht so sorgfältig wie in den Trockenausschachtungen ausgeführt werden konnten, wurde die Stärke der Kieslage zu 15, die der Grandlage zu 25 cm angenommen. Jede der beiden Lagen wurde von den Prähmen aus, in denen das Material angeliefert wurde, in ähnlicher Weise verschüttet, wie der Kies und Grand zu den nach Text-Abb. 71 hergestellten Uferdeckungen. Der Schüttkasten mit dem aus losen Brettern bestehenden Boden lag, wie die Text-Abb. 74 zeigt, auf den um 1,25 bis 1,50 m überstehenden Enden von Trägern, die quer über den Prahm gestreckt waren. Das Material wurde in dem Kasten in der vorgeschriebenen Stärke ausgebreitet und durch Umkanten

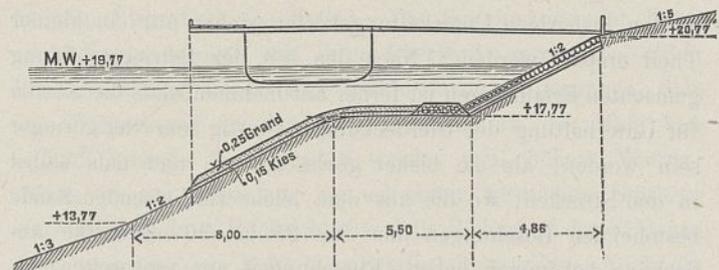


Abb. 74.

der einzelnen Bretter herabgestürzt. Um die Lage der Abstützstelle jederzeit bequem bestimmen zu können, war zwischen dem Prahm und dem Ufer eine mit Malfseintheilung versehene Holzverstrebung angebracht.

Für die so hergestellte Abdeckung der aus feinkörnigem Sande oder anderen leichten Bodenarten bestehenden Bermen und Böschungen sind im ganzen rd. 2 485 000  $\mathcal{M}$  aufgewandt worden. In den Strecken, wo diese Abdeckungen ausgeführt werden mußten, stellten sich die Kosten für 1 m Canallänge, also für die Abdeckungen an beiden Ufern zusammen auf etwa 70 bis 100  $\mathcal{M}$ , an einzelnen Stellen, wo wegen austretender Quellen oder aus anderen Gründen die Abdeckung verstärkt wurde, noch höher.

Das waren sehr erhebliche Kosten, aber sie waren unter den obwaltenden Verhältnissen unvermeidlich. Wären die Deckungen nicht ausgeführt worden, so hätten für die Beseitigung von Rutschungen, die dann ohne Zweifel in großer Zahl und großer Ausdehnung eingetreten wären, und für die Wiederherstellung der dadurch zerstörten Uferdeckungen noch sehr viel größere Kosten aufgewandt werden müssen. Ganz sind diese Rutschungen trotz der Abdeckungen nicht vermieden worden, insbesondere an solchen Stellen, wo wie in den Trockenausschachtungen die Kies- und Granddecke nur eine Stärke von zusammen 25 bis 30 cm erhalten hatte, und es mag zweifelhaft sein, ob es nicht zweckmäßiger gewesen wäre, die Abdeckung hier ebenso wie an anderen Stellen in einer Stärke von nicht unter 40 cm auszuführen. Im voraus liefs sich das aber mit einiger Sicherheit nicht übersehen, und da die ohnehin schon sehr hohen Kosten

dieser im Anschlag nicht vorgesehenen Arbeiten sich mit jedem Centimeter, um welches die Abdeckung verstärkt wurde, um etwa 70 bis 80 000 *M* erhöhten, so mußte mit aller Sorgfalt Bedacht darauf genommen werden, bei der Abmessung der Stärke der Abdeckung nicht über das durchaus notwendige Maß hinauszugehen. Und daß in dieser Beziehung das richtige wenigstens einigermaßen getroffen ist, geht daraus hervor, daß in den 1½ Jahren nach der Betriebseröffnung für die Unterhaltung und Verstärkung der Uferdeckungen und für Nachschüttungen an den Rutschstellen nur ein Gesamt-Kostenbetrag von rd. 200 000 *M* verausgabt worden ist. Das sind ungefähr 1,7 v. H. der Gesamt-Anlagekosten für die Steinabdeckungen und etwa 8,4 v. H. der Kosten, die für die Abdeckungen zum Schutz der Bermen und der unteren Böschungen erwachsen sind. Mit einem solchen Betrage hätten die unteren Abdeckungen um höchstens etwa 3 cm verstärkt werden können, und es ist nicht anzunehmen, daß mit einer so geringen Verstärkung für die Haltbarkeit dieser Abdeckungen etwas Erhebliches gewonnen worden wäre. Jedenfalls wären auch dann spätere Abrutschungen nicht ausgeschlossen gewesen, und es wäre von den 200 000 *M* in den bisherigen Unterhaltungskosten sicher nur ein kleiner Theil erspart worden. Nach den seit der Betriebseröffnung gemachten Erfahrungen ist ferner anzunehmen, daß die Kosten für Unterhaltung der Uferdeckungen künftig sehr viel geringer sein werden, als sie bisher gewesen sind, und daß selbst in den Strecken, wo die aus dem leicht zerfließenden Sande bestehenden Böschungen nur eine 25 bis 30 cm starke Abdeckung bekommen haben, Rutschungen nur auch selten eintreten werden. Denn die meisten und größten Rutschungen traten gleich in den ersten Monaten nach der Betriebseröffnung ein; sie sind nach und nach immer weniger geworden, und im vergangenen Herbst ist selbst bei der Durchfahrt der größten Panzerschiffe der Kaiserlichen Marine nicht die geringste Beschädigung an den Uferdeckungen mehr vorgekommen.

Für die Befestigung der Ufer und Böschungen sind außer den Kosten der vorbeschriebenen Steinabdeckungen noch folgende Ausgaben erwachsen:

- |   |                  |
|---|------------------|
| 1. für Bekleidung und Besamung der Böschungen über der Wasserlinie, rd. . . . .   | 461 000 <i>M</i> |
| 2. für Ableitung von Quellen und Wiederherstellung der im Verlaufe der Bauausführung durch Rutschungen zerstörten Böschungsbekleidungen und Steindecken | 933 000 „        |
| 3. für Flechtzäune und sonstige Arbeiten zur Befestigung der Böschungen über der Wasserlinie . . . . .  | 109 000 „        |
| 4. für Herstellung von Hecken, Verwallungen und sonstigen Einfriedigungen . . . . .   | 34 000 „         |
| 5. für Unterhaltung der Böschungsbekleidungen und Uferdeckungen während der Bauzeit . . . . .   | 54 000 „         |

Diese Beträge und die schon früher genannten Ausgaben für Steinabdeckungen der Ufer- und Unterwasserböschungen von 9 380 000 und 2 485 000 *M* ergeben als Gesamtkostenbetrag für Ufer- und Böschungsbefestigungen die Summe von 13 456 000 *M*.

Das Bekleiden und Einsäen der Einschnittsböschungen, einschliesslich der Herbeischaffung des seitlich ausgesetzten Mutterbodens und Lieferung des Samens wurde ebenso, wie das Bekleiden der Deich- und Dammschüttungen mit Rasen oder Mutterboden an die Unternehmer der Erdarbeiten verdingt, die unter 2 bis 5 bezeichneten Arbeiten dagegen größtentheils im Selbstbetrieb ausgeführt. Die Kosten der Arbeiten zu 1 stimmen mit den anschlagmäßigen und nach den gewöhnlichen Einheitssätzen berechneten fast genau überein. Für die Arbeiten unter 2 sind die Kosten zu einem verhältnismäßig hohen Betrage angewachsen, einestheils weil die Ableitung von Quellen und kleinen Wasserläufen und ihre Einführung in den Querschnitt stellenweise recht umfangreiche und kostspielige bauliche Anlagen erforderlich machten, andertheils weil durch die während der Bauzeit eingetretenen Rutschungen ein Theil der bereits fertigen Böschungsbekleidungen und Uferdeckwerke zerstört wurde, zu deren Wiederherstellung ebenfalls beträchtliche Kosten aufgewandt werden mußten. Abgesehen von diesen Rutschungen sind, wie der unter 5 angegebene Betrag erkennen läßt, für die Unterhaltung der Ufer- und Böschungsbekleidungen während der Bauzeit nur verhältnismäßig geringe Ausgaben erforderlich geworden. Auch die unter 3 aufgeführten Kosten von 109 000 *M* für Flechtzäune, Steinpackungen und ähnliche Arbeiten zur Befestigung der Böschungen über der Wasserlinie haben sich, wenn man die Größe der Böschungsflächen in Betracht zieht, in sehr mäßigen Grenzen gehalten. Ihr Flächeninhalt beträgt insgesamt rd. 250 ha, die Kosten der Befestigung stellen sich also für das Hektar auf 436 *M*.

#### D. Schleusen und Hafenanlagen.

Die in diesem Abschnitt zu beschreibenden Anlagen zerfallen in fünf Gruppen:

- a) die Schleuse nebst Vor- und Binnenhafen bei Brunsbüttel,
- b) die Schleuse nebst Vor- und Binnenhafen bei Holtenau,
- c) die Schleuse bei Rendsburg zwischen dem Canal und der Eider,
- d) die als Nebenanlagen des Canals herzustellenden kleineren Schleusen,
- e) kleinere Hafenanlagen.

In der nachfolgenden Beschreibung wird jede dieser Gruppen in der obigen Reihenfolge eine besondere Abtheilung bilden.

a) Die Schleuse nebst Vor- und Binnenhafen bei Brunsbüttel. Ueber die Lage der Schleuse, wie über die Umrisse sowohl des Vorhafens als des Binnenhafens giebt die Abb. 4 auf Bl. 55 u. 56 des Jahrgangs 1896 dieser Zeitschrift ein übersichtliches Bild. Der von der Schleuse bis an das Fahrwasser der Elbe sich erstreckende Vorhafen ist in der Mittellinie 550 m lang; er ist an seiner Mündung beiderseits durch Molen, weiterhin bis an die Schleusen durch Ufermauern eingefast. Die Breite beträgt zwischen den Molenköpfen 310 m, zwischen den Ufermauern von den Wurzelenden der Molen bis zu dem Punkt, wo die Leitwerke für die Schleuseneinfahrt beginnen, 100 m. Der an die Schleuse unmittelbar sich anschließende Binnenhafen bildet in seiner Grundfläche ein Rechteck von 430 m Länge und 180 m Breite, dessen Längachse mit der Mittellinie des Canals zusammen-

fällt. Eine trichterförmig sich verengende Strecke von 200 m Länge vermittelt den Uebergang von dem Hafen in den normalen Canal-Querschnitt. Die Ufereinfassungen des Binnenhafens bestehen nur an der südöstlichen Langseite und im beiderseitigen Anschluß an die Schleuse aus massiven Stützmauern, im übrigen aus gepflasterten Böschungen. Die Bauausführung wurde in zwei Losen öffentlich verdungen. Zuerst der Bau der Schleuse in Verbindung mit den Arbeiten zur Herstellung des Binnenhafens, später die Molen und Uferbauten des Aufsenhafens. Beide Ausführungen wurden demselben Unternehmer, der Firma C. Vering in Hannover und Hamburg übertragen.

#### I. Der Bau der Schleuse.

Hierzu die Abbildungen 1 bis 4 Bl. 51 u. 52 und die Abbildungen 1 bis 5 Bl. 53 u. 54.

Allgemeine Anordnung. Die für die allgemeine Anordnung der Schleuse maßgebenden Verhältnisse sind schon in dem Abschnitt II dieser Denkschrift unter c und e näher dargelegt worden. Danach muß die Schleuse imstande sein, den Canal sowohl gegen das Hochwasser als auch gegen das Niedrigwasser der Elbe abzuschließen und in beiden Fällen das Durchlaufen von Schiffen zu gestatten. Sie muß ferner mit einer Einrichtung versehen sein, die es ermöglicht, sie bei ausgehender Strömung zu schließen, wenn dies zur Erhaltung eines bestimmten Canalwasserstandes nöthig wird.

Zur Erfüllung der ersten Aufgabe mußten sowohl im Aufsen- als im Binnenhaupt doppelte Thorpaare vorgesehen werden, die gegen das Hochwasser der Elbe wirkenden Fluththore und die bei tiefen Aufsenwasserständen den Canalwasserstand haltenden Ebbethore. Die Fluththore sind in ihrer Höhe und Stärke so bemessen, daß jedes Thorpaar für sich allein einen sicheren Abschluß gegen die höchsten Sturmfluthen der Elbe bietet, obgleich immer die Möglichkeit gegeben ist, die Schleusenkammer als eine mittlere Haltung auszunutzen, durch welche die aus dem Höhenunterschied zwischen dem Aufsen- und Binnenwasser sich ergebende Druckhöhe auf beide Fluththorpaare gleichmäßig vertheilt werden kann.

Zum Abschließen der Schleuse bei durchgehender Strömung dienen die in der Mitte der Schleusenkammer liegenden sog. Sperrthore. Sie sind, um das beim Schließen entstehende Druckmoment thunlichst abzuschwächen, mit ungewöhnlich großen Schützöffnungen versehen, die während des Schließens offen stehen und erst geschlossen werden, nachdem die Thorflügel den Drempeleanschlag erreicht haben. Daß der Verschluss in dieser Weise ohne Gefahr, und ohne daß die dabei zu verwendenden Rückhaltketten oder Stangen allzusehr in Anspruch genommen werden, ausführbar sein werde, wurde vor Aufstellung des Bauentwurfs durch Versuche an den Ebbethoren einer Entwässerungsschleuse von 5,7 m Weite festgestellt. In Uebereinstimmung mit dem Betriebsplan waren solche Sperrthore ursprünglich nur zum Abschluß der Schleuse bei ausgehender Strömung für solche Fälle vorgesehen, wenn der Wasserstand in der Elbe bis unter die mittlere Niedrigwasserhöhe absinkt. Im Verlauf der Bauausführung wurde aber der Gedanke angeregt, daß gewisse Umstände — wie u. a. die Zerstörung eines Fluththores durch ein gegenfahrendes Schiff, oder nicht rechtzeitiges Schließen der Thore infolge

einer Unachtsamkeit der Schleusenwärter — auch ein zeitweiliges Einströmen von Fluthwasser durch die Schleuse herbeiführen könnte und daß deshalb auf die Möglichkeit Bedacht genommen werden müsse, die Schleuse in einem solchen Nothfalle auch bei eingehendem Strom abschließen zu können. Diese Erwägung führte dazu, daß nachträglich noch ein gegen den Fluthstrom gerichtetes zweites Sperrthorpaar angeordnet wurde.

Die Schleuse hat, um einem lebhaften Schiffsverkehr genügen zu können, zwei neben einander liegende Durchfahrtsöffnungen erhalten, von denen die eine — die östliche — in der Regel zur Einfahrt und die andere — die westliche — zur Ausfahrt zu benutzen ist. Jede dieser Oeffnungen hat eine lichte Weite von 25 m und eine nutzbare Länge von 150 m. Die Drempele liegen auf + 9,8. Die Wassertiefe über den Drempele beträgt daher bei mittlerem Niedrigwasser (= + 18,5) der Elbe 8,7 m, bei gewöhnlichem Hochwasser (= + 21,29) 11,49 m. — Die beiden Schleusenhäupter haben ebenso, wie die seitlichen Anschüttungen, die Kronenhöhe des Elbdeiches = + 26,5 und liegen um 1,49 m höher, als der Wasserstand der höchsten bekannten Sturmfluth (+ 25,01). Die Seitenwände der Kammern liegen dagegen mit ihrer Oberkante nur auf + 23,0. Bei Feststellung dieser Höhe wurde davon ausgegangen, daß der Wasserstand in den Schleusenkammern das Maß von + 22,3 niemals überschreiten werde, weil höhere Wasserstände in der Elbe nur bei schweren westlichen Stürmen eintreten und dann Rücksichten auf die Sicherheit der Schleuse dazu zwingen, den Betrieb zeitweilig einzustellen. Auch die Stirn-Enden an beiden Häuptern sind nicht bis zur vollen Höhe des Elbdeiches hinaufgeführt, sondern so angelegt worden, daß sie über das gewöhnliche Hochwasser nicht mehr hervortreten, als für ihre Bestimmung nothwendig ist. Für die Stirnmauern am Binnenhafen wurde hiernach die Höhe von + 23,0 gleich der der Kammerwände, für die am Vorhafen, wo das mittlere Hochwasser um 1,52 m höher liegt, als im Binnenhafen, die Höhe von + 24,5 angenommen.

Baugrund- und Grundwasserverhältnisse. Zur Feststellung der Bodenverhältnisse sind im Jahre 1888 und in den Monaten Januar und Februar 1889 in der Grundfläche der Schleuse und im Gebiet des Vor- und Binnenhafens 37 Bohrungen vorgenommen worden, von denen 9 auf die Schleusenbaustelle entfallen. Die Ergebnisse dieser Bohrungen und die Lage der Bohrlöcher sind aus der zeichnerischen Darstellung Abb. 1 Bl. 51 u. 52 zu ersehen. Zwei dieser Bohrungen (bei Nr. 5 und 25 des Lageplans) sind bis zu größerer Tiefe und mit genaueren Angaben über die Beschaffenheit und Festigkeit der durchbohrten Schichten, sowie über die Grundwasserverhältnisse ausgeführt worden, die eine im Vorhafen in nächster Nähe der Schleuse, die andere im Binnenhafen. Das allgemeine Urtheil über die Bodenverhältnisse in dem untersuchten Gebiet wurde in dem Bericht des Beamten, der die Bohrungen geleitet hatte, in folgenden Sätzen zusammengefaßt:

„Die Reihenfolge der Schichten scheint auf dem ganzen Hafengebiet, von einigen kleinen Unregelmäßigkeiten abgesehen, gleichmäßig zu sein, Stärke und Höhenlage dagegen etwas verschieden. Auf die durchschnittlich 3 m starke Ziegelerde mit zwischenliegender Torfschicht folgt

eine etwa 16 m starke Schicht Marschklei mit mehr oder weniger durchweg feinem Sande. Der hierunter liegende theilweise mit etwas Klei vermischte, theilweise reine mittelgrobe Sand, der sich nesterweise auch in höheren Schichten findet, ist südlich vom Binnenhafen und in der Mitte desselben auf etwa + 2,0 angetroffen, bei der Hälfte der Bohrlöcher jedoch überhaupt nicht erreicht worden. Wie Nr. 3, 5, 25 und 26 erkennen lassen, ist diese obere Sandschicht nur von geringer Mächtigkeit, ebenso die darauf folgende Schicht, die aus sehr festem mergelartigen Letten besteht. Aus Nr. 3, 5 und 25 ergibt sich, daß auf den Letten eine aus reinem grobkörnigen, mit zahlreichen Geschieben gemengtem Sand bestehende Schicht folgt, die bei Nr. 25 rund 9 m Mächtigkeit besitzt und bei Nr. 5 mit 9 m noch nicht vollständig durchfahren war. Die unterste nur an einer Stelle, bei Nr. 25, auf 1 m Tiefe angebohrte Schicht besteht aus sehr festem Geschiebemergel. Der als „Klei mit Sand“ bezeichnete Boden, in welchem die Baugruben unterhalb + 17,5 auszuheben sind, ist ein Gemenge von Thonerde mit feinem Sand und Glimmer in wechselnden Verhältnissen, mit organischen Resten bis zur größten Tiefe durchsetzt. In manchen Lagen, besonders in der oberen 3 m starken, im westlichen Theile auch in den unteren Lagen hat das Gemenge vorherrschend sandigen Charakter, in anderen Lagen ist es sehr fett. Zuweilen gehen die fetten und mageren Schichten unmerklich in einander über, zuweilen sind sie scharf gegen einander abgegrenzt, sodafs wagerechte äußerst dünne Sandschichten mit etwas stärkeren Kleischichten regelmäsig wechseln. Bei allen Bohrungen hat sich ergeben, daß der Klei dem Eindringen des Bohrgeräths erheblich größeren Widerstand entgegengesetzte, als die sandigen Schichten. Ferner blieb bei fast allen Bohrungen das Bohrloch bis in große Tiefen frei, nur ganz ausnahmsweise trat schon in den über + 5,0 gelegenen Schichten Versandung ein. Der Klei ist daher als fester, theilweise sogar sehr fester Boden zu bezeichnen, der jedoch wie jedes Gemenge von Thonerde und Sand bei unvorsichtiger Behandlung und mangelhafter Entwässerung aufgeweicht werden kann, in welchem Falle er stark drängt und zu Rutschungen neigt.“

**Gründung und Mauerwerk.** Nach diesen Bohrergebnissen wurde angenommen, daß die unteren Bodenschichten an sich tragfähig genug seien, um das aus Beton herzustellende Grundmauerwerk der Schleuse unmittelbar aufnehmen zu können. Es mußte freilich darauf gerechnet werden, daß die zunächst unter der Betonsohle liegende, im Mittel etwa 4 m dicke Kleischicht, obgleich sie in dem Bericht über die Bohrungen als fest bezeichnet war, doch bis zu einem gewissen Grade unter der Belastung des Schleusenmauerwerks werde zusammengeprefst werden. Um diesem Umstande Rechnung zu tragen, war die Bauausführung so gedacht, daß zunächst die beiden Seitenmauern und die Mittelmauer der Schleuse jede für sich zwischen eingerammten und gehörig ausgesteiften Spundwänden betonirt und bis zu ihrer vollen Höhe aufgeführt werden sollten und daß erst, nachdem diese sich völlig gesetzt haben würden, mit der Betonirung und Herstellung der Kammerböden vorgegangen werden solle. Es wurde nur als zweifelhaft angesehen, ob es möglich und unbedenklich sein werde, den Beton im

trockenen einzubringen, oder ob die Schüttung unter Wasser werde vorgenommen werden müssen. Ein für den letzteren Fall aufgestellter Arbeitsplan ging davon aus, daß der Wasserstand in der Baugrube während der Schüttung mindestens auf + 14,0 werde gesenkt werden können.

Dementsprechend wurde der Entwurf für das Beton-Grundmauerwerk und die dasselbe begrenzenden und theilenden Spundwände aufgestellt, er war für beide Arten der Bauausführung gleich. Es wird auf ihn jedoch nicht näher eingegangen, da sich im Verlauf der Bauausführung herausstellte, daß die aus den Bohrungs-Ergebnissen gezogenen Schlüsse nicht zutreffend wären und deshalb die bisherigen Baupläne als unausführbar aufgegeben werden mußten. Zur Ausführung gelangte aus den bei der Erörterung der Bauvorgänge später angegebenen Gründen ein dem ganzen Schleusenbauwerk gemeinschaftliches Betonbett, wie es die Abbildungen auf Bl. 51 bis 54 zeigen.

Der Querschnitt des Betonbetts ist unter den Thorkammern und Drempeeln ein anderer, als unter den übrigen Theilen der Schleuse. Unter jenen hat er — abgesehen von den Unterschneidungen bei den Spundwänden — die Form eines rechteckigen wagerechten Balkens, die obere und untere Begrenzung des Betonkörpers bilden der Oberfläche der Thorkammerböden entsprechend wagerechte Linien; in den Schleusenammern dagegen ist die Betonsohle so angelegt worden, daß sie überall ungefähr gleichen Abstand von der gewölbten Schleusensole und das ganze Grundmauerwerk für jede der beiden Kammern die Form eines umgekehrten Gewölbes hat.

Ueber die Gestaltung und die Abmessungen des aufgehenden Mauerwerks und der Drempeel, wie über die Art der Uebermauerung des Betons in den Schleusen- und Thorkammern ist aus den Abb. 2 bis 4 Bl. 51 u. 52 und den Abb. 1 bis 5 Bl. 53 u. 54 alles nähere zu ersehen. Das aufgehende Mauerwerk ist hauptsächlich aus Ziegeln ausgeführt, die in der Nähe der Baustelle aus dem dazu geeigneten Theil des Aushubbodens gebrannt wurden. Alle vorspringenden Kanten, sowie solche Mauertheile, zu denen besondere Formsteine nothwendig gewesen wären, und die Abdeckungen der Schleusenmauern sind aus Werksteinen von bayerischem Granit hergestellt; im übrigen sind die sichtbaren Flächen des Mauerwerks mit Klinkern verblendet, die aus Schweden bezogen, von ungewöhnlicher Festigkeit und in der Form sehr gleichmäsig sind. Auch zu den Uebermauerungen des Betons in den Schleusen- und Thorkammern wurden Klinker verwandt. Als Bindemittel kam größtentheils Cementmörtel zur Verwendung, für gewöhnliches Ziegelmauerwerk im Mischungsverhältniß von 1 Theil Cement zu 3 Theilen Sand, für das Klinker- und Quadermauerwerk in den Verhältnissen 1:2 und 1:1. Ein Theil des Mauerwerks wurde, um einen beim Betoniren übrig gebliebenen Rest von Trafs zu verbrauchen, in einem Gemisch von Cement- und Trafsmörtel ausgeführt, bestehend aus 1 Raumtheil Cement, 1 Theil Trafs,  $\frac{2}{3}$  Theile gelöschtem Kalk und 4 Theilen Sand.

Sämtliche Thore, Fluth-, Ebbe- und Sperrthore sind als eiserne Stemmthore hergestellt. Um für den Fall, daß ein Thor beschädigt wird, längere Betriebsstörungen zu vermeiden, ist für jedes der vorbezeichneten Arten der Thore ein vollständiges Ersatzthor angefertigt worden, das zur jederzeitigen Verwendung bereit gehalten wird. Für größere Ausbesserungen

an der Schleuse, die eine Trockenlegung erfordern, sind Dockthore mit schiffartigem Querschnitt beschafft worden, die so eingerichtet sind, daß sie für beide Endschleusen benutzt werden können. Die Bauart der einzelnen Thorgattungen wird später in einem besonderen Abschnitt näher beschrieben werden.

**Umlauf- und Spülcanäle.** Zum Füllen und Entleeren der Schleusenkammern dienen die aus den Abb. 1, 3 und 4 Bl. 53 u. 54 ersichtlichen Umlaufcanäle, für jede der beiden Kammern von je 7,6 qm Durchflußöffnung. Sie haben aus Rücksichten auf die Standfestigkeit der Mauern einen eiförmigen Querschnitt erhalten. Ihre Mündungen in den Häuptern liegen zwischen der Thorkammer und dem Pontonfalz. In die Schleusenkammern führen von jedem Umlauf 12 Stichcanäle von je 1 qm Querschnitt, die unmittelbar über den Kammerböden ausmünden, sodafs durch die ein- und austretende Strömung eine kräftige Spülung dieser Böden bewirkt wird. Durch die Vertheilung auf eine große Anzahl sich gegenüber liegender Ausmündungen der Stichcanäle wird trotz der starken Strömungen, die an den Mündungsstellen eintreten, eine möglichst ruhige Lage der Schiffe während der Ausspiegelung erzielt. Die Ausspiegelungszeit beträgt bei den unter mittleren Verhältnissen vorkommenden größten Wasserstands-Unterschieden von  $21,29 - 19,77 = 1,52$  m rund 4 Minuten und bei den größten Unterschieden von  $22,30 - 19,27 = 3,03$  m rund 5 Minuten. Zum Verschluss der Umläufe dienen hölzerne Rollenschützen, von denen sowohl im Aufsenhaupt als im Binnenhaupt für jeden Umlauf zwei angebracht sind. Sie sind ähnlich eingerichtet, wie die Schützen der Sperrthore. Ueber ihre Bauart wird bei der Beschreibung der Thore und der Bewegungsvorrichtungen der Schleusen alles nähere mitgetheilt werden.

Im Zusammenhang mit der Anordnung der Schützen steht die Einrichtung zum Spülen der Thorkammerböden für die Fluth- und Ebbethore, die aus den Abb. 1, 3 und 5 Bl. 53 u. 54 ersichtlich ist. Auf beiden Seiten der Thorkammern sind in den Schleusenmauern unter den Umläufen 80 cm weite Rohre wagerecht verlegt, von denen je zehn fächerartig angeordnete kleinere Rohre von 25 cm Durchmesser abzweigen und am Fuß der Wendische unmittelbar über dem Boden der Thorkammern ausmünden. In den äußeren Fluththorkammern sind die Mündungen dieser kleinen Rohre durch selbstthätige eiserne Klappen geschlossen, die derartig angeordnet sind, daß sie nicht höher aufschlagen können, als daß das Schleusenthor sich noch frei über der geöffneten Klappe bewegen kann. Die 80 cm weiten Rohre sind mit den Umläufen durch Abfallschächte verbunden, von denen der eine zwischen den beiden Umlaufschützen, der andere hinter denselben, nach der Schleusenkammer zu, angeordnet ist. Der zwischen den beiden Schützen liegende Schacht führt in dem Aufsenhaupt nach den Spülrohren für die Fluththorkammer, im Binnenhaupt nach den Spülrohren für die Ebbethorkammer, während der hinter den Schützen liegende Schacht im Aufsenhaupt mit den Spülrohren für die Ebbethorkammer und im Binnenhaupt mit denen für die Fluththorkammer in Verbindung steht. Im Aufsenhaupt wird eine Spülung der Fluththorkammer dadurch bewirkt, daß bei Niedrigwasser in der Elbe und gefüllter Schleusenkammer das innere Schütz gezogen wird, während das äußere ge-

schlossen bleibt. Die Ebbethorkammer des Aufsenhauptes wird gespült, wenn bei Hochwasser in der Elbe und einem mit dem Canalwasserspiegel ausgeglichenen Wasserstand in der Schleuse beide Schützen gezogen werden. Die Spülung dieser Kammer erfolgt mithin jedesmal, wenn zur Füllung der Schleuse von aufsen Wasser eingelassen wird. In ganz ähnlicher Weise ist beim Spülen der Thorkammern des Binnenhauptes zu verfahren. Der Boden der Sperrthorkammern wird beim jedesmaligen Füllen der Schleusenkammer gespült. Die Spülcanäle wirken hier in gleicher Weise, wie die aus den Umläufen abzweigenden Stichcanäle.

Anlagen zur Aufnahme der Maschinen-Betriebs-einrichtungen. Die zum Betriebe der Schleusen erforderlichen Bewegungen der Thore, der Schützen in den Umläufen und Sperrthoren und der Spille werden durch Druckwasser bewirkt. Im oberen Theil der Schleusenmauern liegen die geräumigen Maschinenkammern, in denen die Druckwassermotoren aufgestellt sind, und zwischen diesen Kammern die zur Durchführung der Wasserdruckrohre, der Heizrohre und elektrischen Leitungen dienenden Laufgänge. In Abb. 4 Bl. 51 u. 52 sind diese Anlagen unter Angabe der Lage der einzelnen Maschinen übersichtlich dargestellt. Weitere Mittheilungen über die Einrichtung der Maschinen und die Art der Kräfte-Uebertragung werden sich an die in einem besonderen Abschnitt nachfolgende Beschreibung der Schleusenthore anschließen. Die Maschinenkammern und Laufgänge haben eine lichte Höhe von 1,9 m, ihre Sohle liegt 2,2 m unter der Oberkante der Schleusenmauern. Der Grundriß der Kammern ist lediglich dem Raumbedürfnis für die aufzustellenden Maschinen angepaßt worden. Die Decke besteht in den Kammern aus Monier-Gewölben, die zwischen eisernen Trägern eingespannt und mit einer 3 cm starken Gufsasphaltschicht überdeckt sind, in den Laufgängen aus Granitplatten. Sämtliche Räume werden durch Glühlampen elektrisch beleuchtet.

In das Betonbett der Schleusen sind drei quer zur Schleusenachse gerichtete Tunnel eingebaut, die durch Einsteigeschächte von rechteckigem Querschnitt mit den Maschinenkammern im oberen Theil der Schleusenmauern in Verbindung stehen. Zwei dieser Tunnel, der eine unter dem Aufsenhaupt, der andere unter dem Binnenhaupt, sind im lichten 1,4 m hoch und 1,8 m weit, der Tunnel unter dem Sperrthorhaupt sollte die gleichen Abmessungen erhalten, ein Theil davon wurde jedoch aus später zu erörternden Gründen aus einem eisernen Rohr von 60 cm Lichtweite hergestellt. In diese Tunnel und Schächte sind aufser den Druckwasserleitungen für die Bewegungs-Vorrichtungen der Schleusen noch die Dampfrohren der Heizungsanlagen für die Maschinenkammern, die Kabel für die elektrische Beleuchtungsanlage, die Rohre einer Trink- und Kesselspeise-Wasserleitung, sowie Telegraphen- und Fernsprech-Leitungen eingelegt.

Einrichtungen zur Erleichterung der Ein- und Ausfahrt, sowie zum Anlegen und Befestigen der Schiffe. Im Aufsen- und Binnenhafen sind im unmittelbaren Anschluß an die Schleuse hölzerne Leitwerke angeordnet, die den Zweck haben, den ein- und ausfahrenden Schiffen als Führung zu dienen. Ihre Lage ist in der Abb. 4 auf Bl. 55 u. 56 des Jahrgangs 1896 dieser Zeitschrift angedeutet. Sie sind 100 m lang und bestehen aus hölzernen Schwimmflößen, die sich gegen mächtige Pfahlbündel legen. (S. Abb. 5 bis 9

Bl. 51 u. 52.) Die Pfahlbündel haben von Mitte zu Mitte einen Abstand von etwa 18 m. Sie sind aus einem nur bis zur Mittelwasserhöhe hinaufreichenden und daher der Fäulniss wenig ausgesetzten Grundbau und einem weniger dauerhaften Ueberbau zusammengesetzt. Die unteren Theile bestehen aus je 32 lothrecht eingerammten Pfählen von 50 cm mittlerem Durchmesser, die nur in ihren Köpfen durch einen aufgezapften Schwellrost verbunden und so imstande sind, die Stöße der gegenfahrenden Schiffe elastisch aufzunehmen. Ueber Mittelwasser, wo die Hölzer in bestimmten Zeitabschnitten verfaulen und deshalb ausgewechselt werden müssen, tragen die Pfahlbündel starke Ständerwerke, in denen die einzelnen Hölzer sowohl unter sich, als mit dem Schwellrost durch Kreuz- und Querstreben, sowie durch eiserne Bänder, Bügel

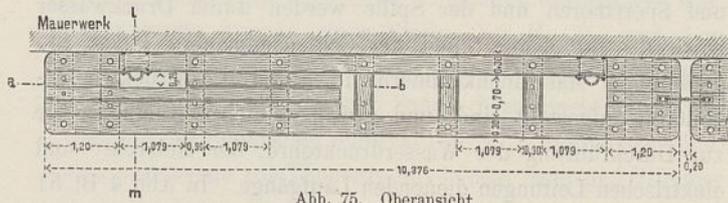
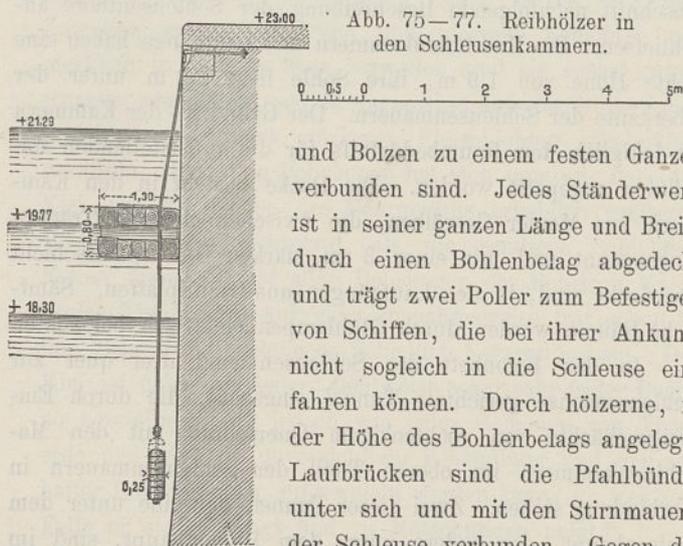


Abb. 75. Oberansicht.



Abb. 76. Längenschnitt nach a b.

Abb. 77. Schnitt *lm*.

und Bolzen zu einem festen Ganzen verbunden sind. Jedes Ständerwerk ist in seiner ganzen Länge und Breite durch einen Bohlenbelag abgedeckt und trägt zwei Poller zum Befestigen von Schiffen, die bei ihrer Ankunft nicht sogleich in die Schleuse einfahren können. Durch hölzerne, in der Höhe des Bohlenbelags angelegte Laufbrücken sind die Pfahlbündel unter sich und mit den Stirnmauern der Schleuse verbunden. Gegen die Pfahlbündel lehnen sich die 4,75 m breiten, aus kräftigen kiefernen Balken und Rundhölzern hergestellten Schwimmflöße derartig, daß sie mit 2,25 m Breite zwischen die Pfahlbündel eingreifen und mit 2,5 m Breite vor denselben liegen. Die Flöße sind sehr kräftig angeordnet, da sie die Stöße der Schiffe aufzunehmen und auf die Pfahlbündel zu übertragen haben. Sie heben und senken sich mit dem wechselnden Wasserstande und werden in ihrer Lage zu den Pfahlbündeln durch Ketten gehalten, die oben an den Pfahlbündeln befestigt sind, durch eine Aussparung der Flöße hindurchgehen und unterhalb derselben durch Gewichte belastet sind. Aehnliche Flöße von wesentlich geringeren Abmessungen liegen an beiden Wänden jeder Schleusenöffnung. Ihre Anordnung ist aus den Text-Abb. 75 bis 77 zu ersehen. Sie haben den Zweck, das Anstossen von Schiffen an die Schleusenmauern zu verhindern, und können für den Fall, daß die Ausnutzung der vollen Schleusenbreite einmal notwendig werden sollte, jederzeit von ihren Festhalteketten ohne Schwierigkeit abgelöst und ausgefahren werden.

Zum Ein- und Ausholen der Schiffe, sowie zu ihrer Befestigung während des Durchschleusens sind auf den Schleusenmauern Spille und Poller aufgestellt. (S. Abb. 1 bis 5 Bl. 53 u. 54.) Die Spille sind so eingerichtet, daß sie sowohl durch Druckwasser als von der Hand bewegt werden können. Eiserne Steigeleitern, die in den Kammerwänden angebracht sind und von der Krone der Schleusenmauern bis zum Wasserspiegel hinunterführen, dienen zur Erleichterung des Verkehrs mit den in der Schleuse liegenden Schiffen.

Ausführung der Gründungs- und Maurerarbeiten. Nachdem der vorstehend beschriebene Bauentwurf in allen wesentlichen Theilen festgestellt und nur noch eine Entscheidung über die Art der Herstellung des Betonbettes vorbehalten war, wurden die Gründungs- und Maurerarbeiten im Juni 1890 öffentlich verdingen. Bei diesem Verding wurden für die Betonierungsarbeiten zwei Preise eingefordert, sowohl für den Fall der Ausführung im trockenen, als auch bei Vornahme der Schüttung unter Wasser. Mit der Ausschachtung der Baugrube, die in den Text-Abb. 78 u. 79 im Grundriss und Querschnitt dargestellt ist, war schon ein Jahr früher, im Sommer 1889 begonnen worden. Der Aushub geschah theils durch Handarbeit, theils mittels eines Trockenbaggers zunächst bis zur Tiefe von +14,0. Dabei war der Wasserandrang ein sehr geringer. Und da die angeschnittene, aus Klei mit Sand bestehende Bodenschicht noch bis zur Tiefe von im Mittel etwa +2,0 hinabreichte, so erschien es unter Berücksichtigung der bei den Bohrungen ermittelten Grundwasserverhältnisse unbedenklich, die Ausschachtung noch auf weitere 3 m Tiefe, bis zu +11,0 fortzusetzen. Von dieser Sohle ab sollten dann erst die zur Umfassung des Betonbettes vorgesehenen Spundwände eingerammt werden.

Als die Tiefe von +11,0 zum Theil hergestellt war, brachen in der Sohle der Baugrube zwei Quellen (I u. II) auf, deren Lage aus der Text-Abb. 78 ersichtlich ist. Bezüglich der Quelle I wurde festgestellt, daß sie mit einem der zur Bodenuntersuchung hergestellten Bohrlöcher zusammenfiel; ob die Quelle II und die später aufgebrochene Quelle III ebenso entstanden sind, liefs sich mit Sicherheit nicht ermitteln. Die beiden Quellen gaben zusammen soviel Wasser, daß mit einer sechspferdigen Locomobile ungefähr ein Drittel des Tages gepumpt werden mußte bei einer Förderhöhe von reichlich 10 m. Die Quelltrichter reichten bis auf die etwa in der Höhe von +2,0 liegende Sandschicht hinab. Um den anfangs starken Sandauftrieb zu verhindern, wurde in die eine Quelle Kies geworfen. Da sich hierdurch aber die Oeffnung im Boden sichtlich erweiterte, wurde bei der zweiten Quelle Abstand davon genommen. Bei beiden wurde, nachdem sich in dem Kleiboden ein Quelltrichter gebildet hatte, der Sandauswurf unerheblich.

Im Juni 1890, als die Gründungs- und Maurerarbeiten verdingen wurden, war der Aushub bis zur Tiefe von +11,0 beendet. Den Verdingungs-Unterlagen war ein Baubetriebsplan beigelegt, wonach in erster Linie eine trockene Gründung der Schleuse ins Auge gefaßt war und zur Gründung unter Wasser nur dann übergegangen werden sollte, wenn die erstere sich als nicht durchführbar erweisen würde. Die eigentlichen Bauarbeiten begannen mit dem Rammen der den Betonkörper umfassenden 30 cm starken Spundwände im October 1890. Beschäftigt waren dabei drei unmittelbar wir-



Mittlerer Höhenunterschied also

zwischen Elbe und Rohr I: 1,31 m,

„ „ „ „ II: 1,37 m.

Es hat danach infolge der Ausströmung durch das Rohr im Pumpenschacht eine Senkung stattgefunden

im Rohr I von 0,31 m,

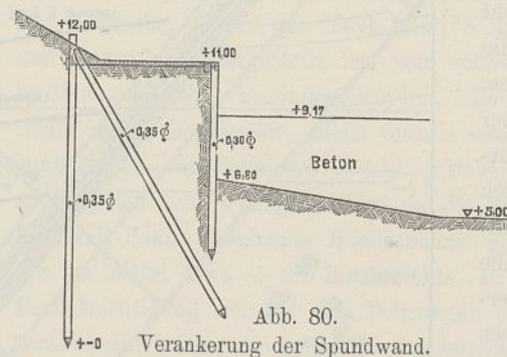
„ „ II „ 0,32 m.

Eine erheblich stärkere Senkung wurde auch dadurch nicht erreicht, daß das Rohr aus dem Brunnenschacht ganz herausgezogen und der Wasserspiegel im Brunnen durch stärkeres Pumpen bis auf +4,0 abgesenkt wurde. Sobald dagegen das Rohr im Brunnen geschlossen und dadurch der Wasserauslauf gehindert wurde, stieg das Wasser in den zunächst gelegenen Beobachtungsröhren I und II sofort wieder auf seine frühere Höhe von im Mittel ungefähr +18,5 an. Auf die weiter entfernten Beobachtungsrohre III bis VIII hatte die Wasserspiegelsenkung im Brunnen, selbst wenn sie tagelang ununterbrochen fortgesetzt wurde, keinen merklichen Einfluß.

Nach diesen Versuchen und Beobachtungen wurde es als erwiesen angesehen, daß es entweder überhaupt nicht möglich oder doch nur mit sehr umfangreichen und kostspieligen Einrichtungen erreichbar sein würde, durch Abpumpen von Wasser aus größerer Tiefe eine Senkung des Grundwasserstandes, oder eine Abnahme des Druckes, unter dem die Quellen hervortraten, in dem Maße herbeizuführen, daß die Baugrube unbedenklich bis zur planmäßigen Tiefe im trockenen ausgehoben werden konnte. Daraus ergab sich dann die Nothwendigkeit, die beabsichtigte Trockengründung aufzugeben und zur Gründung unter Wasser überzugehen. Es konnte aber unter diesen Umständen auch an dem Plan, jede der drei Schleusenmauern für sich allein zu gründen und aufzuführen, nicht festgehalten werden. Denn nachdem die Versuche gezeigt hatten, daß das Abpumpen von Wasser aus der unteren Sandschicht auch bei Einrichtung einer größeren Anzahl von Brunnen und Pumpenanlagen nur eine mäßige Abschwächung des Grundwasserdruckes zur Folge haben werde, erschien es nicht zulässig, den Wasserstand in der Baugrube während der Ausbaggerung der unteren Bodenschichten und während des Betonirens erheblich unter der Höhe des in den Beobachtungsröhren sich darstellenden Grundwasserstandes zu halten. Nur bei einem wenig unter dem Grundwasserstand liegenden Wasserspiegel in der Baugrube konnte mit Sicherheit darauf gerechnet werden, daß weitere Quellbildungen in der Sohle und Auswaschungen des Betons vermieden werden würden. Bei einem so hohen Wasserstande war es, wenn nicht unmöglich, so doch gewiß sehr schwierig und kostspielig, die zur Einfassung getrennter Baugruben erforderlichen Spundwände haltbar herzustellen; diese Wände und die zu ihrer Versteifung erforderlichen Querverbindungen würden außerdem sowohl den Erdaushub, wie die Betonirungs- und Maurerarbeiten in hohem Grade erschwert haben. Um allen diesen Schwierigkeiten zu entgehen, wurde auf die Durchführung des ursprünglichen Arbeitsplanes verzichtet und dazu übergegangen, für das ganze Bauwerk ein gemeinschaftliches Betonbett herzustellen. — Die Stärke des Betonbettes wurde bei dieser Art der Ausführung erheblich größer, als nach dem früheren Bauplan, im Durchschnitt zu rund 4,20 m angenommen; einestheils, weil nicht darauf gerechnet werden

konnte, daß der in einer Wassertiefe von 8 bis 12 m geschüttete Beton hinsichtlich seiner Güte einem im trockenen oder bei geringer Wassertiefe eingebrachten Beton völlig gleichkommen werde, andernteils um die in ganzer Breite der Schleuse durchgehende Betonplatte geeigneter zu machen, die aus der ungleichen Belastung durch die Schleusenmauern und der Nachgiebigkeit des Baugrundes entstehenden Spannungen aufzunehmen.

Gleich nachdem die Gründung bei hohem Wasserstande beschlossen war — Anfang December 1890 —, wurden die dazu nöthigen Vorbereitungen schleunigst in Angriff genommen. Zunächst galt es, die für das Betonbett bereits hergestellten Umfassungs-Spundwände gegen den Erddruck zu sichern, den sie nach vollständiger Ausbaggerung der Baugrube so lange aushalten mußten, bis sie durch den Gegendruck des eingeschütteten Betons entlastet wurden. Zu diesem Zwecke wurden in Abständen von 3 m die in der Text-Abb. 80 dargestellten Anker eingebracht. Sie bestanden aus 40 mm star-



ken Rundeisenstangen, die von 12 m langen und 35 cm starken Bockpfählen gehalten wurden. Die Eisenstangen hatten an einem Ende ein verstärktes Schrauben-

gewinde mit Mutter, an dem anderen gestauchte Köpfe, die nebst der Unterlagscheibe in die Spundwand eingelassen wurden, um ein Untergreifen der Baggereimer zu vermeiden. Aus demselben Grunde wurde das Gurtholz an der Rückseite der Wand angeordnet und jede Spundbohle mit diesem durch einen Schraubbolzen mit halbrundem Kopf verbolzt. Ferner wurden, um den Wasserstand in der Baugrube jederzeit in ungefähr gleicher Höhe mit dem Grundwasserstande halten und diesen letzteren vielleicht noch etwas weiter, als durch Abpumpen von Wasser aus dem Versuchsbrunnen möglich gewesen war, absenken zu können, an den in der Text-Abb. 78 mit *a* bis *f* bezeichneten Stellen um die Baugrube sechs eiserne Röhrenbrunnen von je 50 cm Weite bis in die wasserführende Sandschicht abgesenkt. Jedes Rohr hatte zum Einlassen des Grundwassers einen 3 m hohen von — 9,0 bis — 6,0 reichenden Filter und wurde am unteren Ende, um das Eintreiben von Sand zu verhindern, durch einen Betonpfropfen verschlossen. Zum Heben des Wassers wurde für jedes Rohr eine 210 mm weite, von einer 16 pferdigen Locomobile betriebene Kreiselpumpe aufgestellt. Abgeführt wurde das Wasser in die Schleusenbaugrube und aus dieser durch drei Kreiselpumpen von 260 mm Weite, die durch eine 30- und eine 75 pferdige Maschine getrieben wurden, nach Bedarf weiter gefördert. Sämtliche Wasserhaltungs-Anlagen wurden bis zum April 1891 vollendet; sie hatten aber für die Senkung des Grundwasserstandes wenig Erfolg, weil die Filter sich durch den feinen Sand verstopften und nur geringe Wassermassen durchließen. Die geförderte Wassermenge wurde auch, wie durch Versuche festgestellt wurde, nicht größer, wenn die Brunnenrohre unten offen blieben. Es mußte dann, um starken Sandauftrieb zu

verhüten, Kies eingeschüttet werden, und dadurch wurde dann der Wasserzufluß wieder sehr vermindert. Ebenso wenig wurde damit erreicht, daß neben die bis auf  $-9,0$  abgesenkten Rohre noch solche ohne Filter nur bis zur Tiefe von im Mittel  $-3,0$  eingetrieben wurden. Obgleich sämtliche Brunnen seit April 1891 in Betrieb waren, wurde damit eine weitere Absenkung des Grundwasserstandes, als bei den im Herbst 1890 angestellten Versuchen nicht erreicht. Und es mag hier gleich noch erwähnt werden, daß auch durch zwei größere gemauerte Brunnen, die noch im Laufe des Sommers 1891 — der eine im alten Schürfloch im Binnenhafen, der andere jenseits der Baugrube im Vorhafen — abgesenkt wurden, ein nennenswerther Erfolg nicht erzielt werden konnte.

Als unter diesen Umständen mit der Ausbaggerung der Baugrube bis zur planmäßigen Tiefe vorgegangen werden mußte, entstand die Frage, ob es nöthig sein werde, den Wasserstand der Baugrube während der Baggerarbeiten in völlig gleicher Höhe mit dem in den Beobachtungsröhren erkennbaren Grundwasserstande, auf rd.  $+18,5$  zu halten. Bei diesem Wasserstande mußte der zu verwendende Bagger eine Greiftiefe von  $13,5$  m haben, ein so tiefgreifender Bagger stand aber nicht zur Verfügung und war auch, weil er eigens für den Zweck gebaut werden mußte, in kurzer Zeit nicht zu beschaffen. Deshalb war eine etwas geringere Höhe des Wasserspiegels in der Baugrube wünschenswerth. Die hierüber angestellten näheren Erwägungen führten dahin, daß die planmäßige Vertiefung bis auf  $+5,0$  bei einem Wasserspiegel in Höhe von  $+16,0$  noch unbedenklich vorgenommen werden könne. Dies ergibt sich aus der Thatsache, daß die Baugrube bis zur Tiefe von  $+11,0$  trocken ausgeschachtet worden war, ohne daß sich, abgesehen von den früher erwähnten Quellen, irgendwelche Bodenaufbrüche gezeigt hatten. Das Gewicht des über der wasserführenden Sandschicht liegenden Kleibodens hatte hiernach ausgereicht, dem Auftrieb des Grundwassers das Gleichgewicht zu halten. Die Dicke dieser Kleibodenschicht hatte bei der Sohlentiefe von  $+11,0$  rund  $9$  m, die dem Grundwasserauftrieb entgegenwirkende Belastung also, bei Annahme eines specifischen Gewichts des Kleibodens von  $1,7$

$$9 \cdot 1,7 = 15,3 \text{ t/qm}$$

betragen. Nach der Ausbaggerung bis auf  $+5,0$  und bei einem Wasserstande in der Baugrube von  $+16,0$  betrug dagegen die Belastung

$$3 \cdot 1,7 + 11 \cdot 1,0 = 16 \text{ t/qm,}$$

also noch  $0,8$  t/qm mehr, als während und nach Beendigung der Trockenaussschachtung. Wie hiernach nicht anders zu erwarten war, wurde noch, nachdem ein Theil der Baugrube bis zur vollen Tiefe ausgehoben war, durch einen Taucher festgestellt, daß keinerlei neue Quellen entstanden und sogar die früheren Quellaufbrüche versandet waren.

Für die Ausführung der Baggerarbeiten wurde ein Eimerbagger verwandt, der vom Elbufer aus auf einem eigens dazu hergerichteten Helling über den Elbdeich in die Baugrube geschafft wurde. Durch einen Elevator, der an der einen Langseite der Baugrube aufgestellt war, wurde der Boden aus den Baggerprähen bis  $+25,4$  gehoben und dann unter Wasserzusatz auf die in der Nähe der Baugrube zur Verfügung stehenden Ablagerungsflächen gespült. Das am äußersten Ende der Ablagerungsfläche sich sammelnde noch

ziemlich schlickhaltige Wasser wurde durch eine dort aufgestellte Kreiselpumpe über den Deich in die Elbe abgeführt. Während der Ausbaggerung der Baugrube wurden die umfangreichen Betonirungsarbeiten derart vorbereitet, daß sie unter Innehaltung des Arbeitsplanes noch vor Eintritt des Winters 1891/92 vollständig ausgeführt werden konnten.

Zum Löschen der Baumaterialien, bei deren Anfuhr man vorzugsweise auf den Wasserweg angewiesen war, hatte die Bauverwaltung schon im Sommer 1889 eine Ladebrücke gebaut, und unter Benutzung dieser Brücke war auch ein Theil der zur Herstellung des Betons erforderlichen Materialien in den Jahren 1889 und 1890 bereits angeliefert worden. Die Brücke lag am Elbufer in unmittelbarer Nähe der Baustelle (s. Text-Abb. 78), sie wurde mit drei Dampfkränen ausgerüstet und mit einer Rollbahn verbunden, auf der die gelöschten Materialien auf die an der Baugrube vorhandenen Lagerplätze gefördert werden konnten. Von dem Bauunternehmer Vering wurde außerdem noch eine mit vier Handkränen ausgerüstete Ladebrücke im alten Brunsbütteler Hafen angelegt und mit der Baustelle durch ein rund  $2$  km langes Fördergleis verbunden.

Da das Mahlen der Tuffsteine zu Trafs vorschriftsmäßig auf der Baustelle zu bewirken war, wurde in der Nähe der über den Elbdeich führenden Rollbahn (s. Text-Abb. 78) eine Trafmühle errichtet, bestehend aus einem Steinbrecher und vier von der Firma Löhnert in Bromberg bezogenen Kugelmühlen. Jede dieser Mühlen hatte  $2$  m Durchmesser, war  $1$  m breit und erforderte zum Betriebe  $12$  Pferdekräfte. Die vier Mühlen lieferten in  $24$  Stunden durchschnittlich  $130$  cbm Trafmehl von völlig hinreichender Feinheit. Die vorgenommenen Siebversuche ergaben im Durchschnitt

	beim 60 Maschen-Sieb einen Rückstand von $0,4$ v. H.
„ 600	„ „ „ „ „ 28,4 „ „
„ 900	„ „ „ „ „ 37,0 „ „
„ 4900	„ „ „ „ „ 51,0 „ „

Ein Hauptvorteil der Kugelmühlen ist die fast gänzliche Vermeidung des Staubes, der bei den alten Kollergängen nicht nur für die Arbeiter unangenehm und gesundheitsschädlich ist, sondern auch einen nicht unerheblichen Stoffverlust verursacht. Unbedingt erforderlich ist es aber, daß die Tuffsteine vor dem Vermahlen gut ausgetrocknet sind, weil sonst die Siebe sich sogleich verstopfen. Bei dem feuchten Klima an der Unterelbe war es daher geboten, die Steine in einem Holzschuppen abzulagern.

In der Nähe der Kalkgruben und der Sandlagerplätze war ein Mörtelwerk angelegt (s. Text-Abb. 78). Es bestand aus zwei Schlickeisenschen Apparaten, die durch eine  $25$  pferdige Maschine betrieben wurden. Die Mischwerke lagen in einer kellerartigen Vertiefung unter dem Gelände, sodafs die Zufuhrgleise ohne Steigung herangeführt und die Materialien bequem in die zum Mörtelwerk führenden Trichter hinabgeworfen werden konnten. Der fertige Mörtel wurde durch zwei Becherwerke wieder gehoben und gelangte durch Schüttrinnen in die Muldenkipper, durch die er zur Beton-Mischanlage abgefahren wurde. Die vorschriftsmäßige Abmessung der Materialien, aus denen der Mörtel zusammengesetzt wurde, erfolgte durch die in entsprechender Größe hergerichteten Zufuhrgleise. Aus diesen wurden die einzelnen Stoffe schaufelweise in die Mischwerke hinabgeworfen.

Der Betonschotter war zwischen der Baugrube und dem Elbdeich gelagert. Er wurde unter Verwendung des aus der Baugrube gepumpten Wassers sorgfältig gewaschen. Das Wasser wurde in einen 5,5 m über dem Erdboden liegenden Behälter (s. Text-Abb. 81) geleitet, an dem acht Schläuche

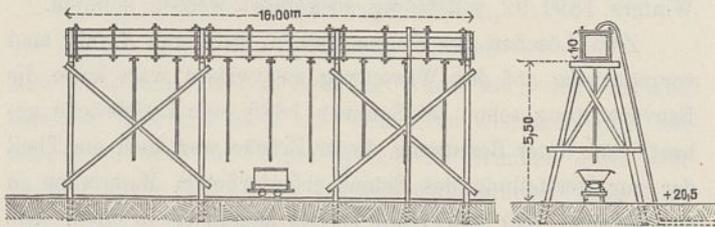


Abb. 81. Schotterwäsche.

angebracht waren. Der Schotter wurde in Muldenkippern, die siebartige Böden hatten, unter den Wasserbehälter gefahren und hier dem vermittelt der Schläuche zugeführt, unter 5 m Druck stehenden Wasserstrahl so lange ausgesetzt, bis das Wasser aus den Böden der Förderwagen klar abfloß.

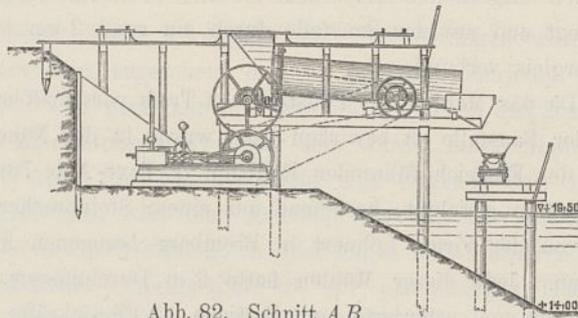


Abb. 82. Schnitt A B.

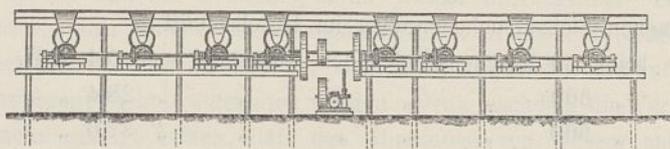


Abb. 83. Schnitt C D.

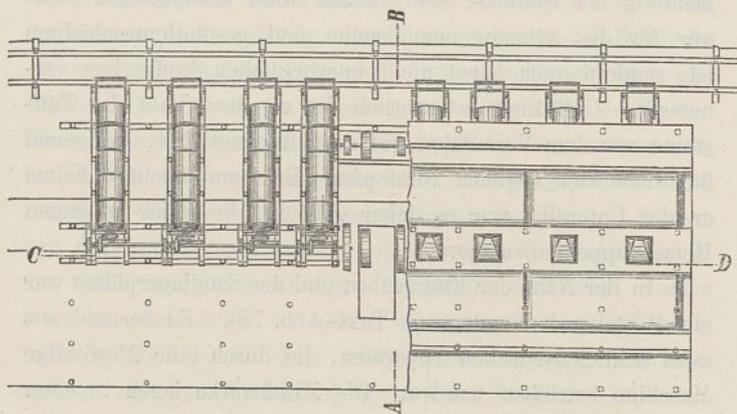


Abb. 84. Grundrifs.

Abb. 82—84. Betonmischanlage.

Die Beton-Mischanlage ist in den Text-Abb. 82 bis 84 dargestellt. Der fertige Mörtel und der gewaschene Schotter wurden von einer bei den Mischtrommeln angelegten Bühne aus nach dem vorgeschriebenen Mischungsverhältnis in Trichter eingeschaufelt, durch die das Material den Trommeln zugeführt wurde. Aus den Trommeln, von denen acht neben einander lagen, die von einer 25 pferdigen Maschine gemeinschaftlich bewegt wurden, gelangte die fertige Mischung in die zur

Weiterförderung nach dem Versenkgerüst bestimmten Muldenkipper. Das hierzu benutzte Abfuhrgleis lag 3 m unter dem Material-Zufuhrgleis in Höhe von + 17,25 auf einem Gerüst, das sich über die ganze Breite der Baugrube ausdehnte und mit gleichen an beiden Langseiten der Baugrube hergestellten Gerüsten verbunden war. Zwischen diesen letzteren war eine schwimmende Brücke eingebaut (Text-Abb. 85 bis 87), die durch Winden über die ganze Länge der Baugrube derart fortbewegt werden konnte, daß sie immer genau rechtwinklig zur Längsachse der Baugrube lag und in jeder Lage mit dem Quergerüst bei den Betontrommeln und den zwischen beiden liegenden Theilen der Langseiten-Gerüste ein geschlossenes Rechteck bildete. An dieser Schwimmbrücke entlang wurde das ebenfalls schwimmende eigentliche Versenkgerüst quer über die Baugrube hin- und hergeführt. Mit Hilfe der beiden Bewegungsvorrichtungen konnte jeder Punkt der Baugrube mit dem Versenkgerüst bequem erreicht und die Schüttung des Betons mit der größten Genauigkeit und Regelmäßigkeit bewerkstelligt werden. Das in den Text-Abb. 85 bis 87 dargestellte Versenkgerüst enthielt acht Schüttkasten von je 1 cbm Inhalt. Jeder Kasten hing an einem Drahtseil, das über einer Rolle nach einer Winde führte, hier einige Mal um die Trommel geschlagen war und dann über eine zweite Rolle laufend ein an der Rückseite des Gerüsts aufgehängtes Gegengewicht trug. Dieses Gegengewicht war leichter als der gefüllte Betonkasten und wurde beim Absenken des Kastens in die Höhe gezogen; es war dagegen schwerer als der entleerte Betonkasten und konnte daher diesen durch sein Eigengewicht wieder heraufziehen. Die Winde diente nur dazu, die Bewegung in der einen oder anderen Richtung zu regeln, was von einem Arbeiter bequem bewerkstelligt werden konnte. Die Bewegung der Kippwagen, in denen der Beton von den Mischtrommeln nach dem Versenkgerüst gefördert wurde, erfolgte stets in einer und derselben Richtung. Jeder Wagen enthielt 0,5 cbm, sodafs immer zwei Wagen zur Füllung eines Schüttkastens erforderlich waren. Die vorgeschriebenen Einrichtungen wurden von dem Bauunternehmer H. Vering nach eigenen Entwürfen ausgeführt. Sie erwiesen sich als durchaus und in jeder Beziehung zweckentsprechend. Der Betrieb dauerte vom 8. August bis zum 3. December, und während dieser Zeit wurden in 185 zehnstündigen Arbeitsschichten rund 67000 cbm Beton versenkt, also in jeder Schicht durchschnittlich 360 cbm. Die größte Tagesleistung betrug (bei 20 stündiger Arbeitszeit) rund 1000 cbm. Der Beton bestand aus einer Mischung von neun Raumtheilen Schotter und sechs Raumtheilen Trafmörtel. Der Mörtel war aus einem Raumtheil Trafs,  $\frac{2}{3}$  Raumtheilen Kalk und einem Raumtheil Sand zusammengesetzt. Die Schüttung des Betons erfolgte mit ungefähr 1:4 geneigter vorderer Böschung derart, daß überall gleich die volle planmäßige Höhe hergestellt wurde. An den Stellen, wo die Tunnel durchgeführt werden sollten, wurden in einer dem Tunnel-Querschnitt entsprechenden Breite und Tiefe Rinnen ausgespart. Während der Schüttung wurde der Wasserstand in der Baugrube in der Höhe von + 16,5 gehalten, um 0,5 m höher, als während der Baggerarbeiten. Ihn bis zur vollen Höhe des in den Beobachtungsröhren angezeigten Grundwasserstandes ansteigen zu lassen, war ohne eine wesentliche Erschwerung

der Betonierungsarbeiten nicht thunlich und, nachdem festgestellt war, daß während der Baggararbeiten nirgends neue Quellbildungen hervorgetreten waren, auch nicht nothwendig. Die drei Quelltrichter, die schon während des Trockenausbaus entstanden waren, wurden vor dem Beginn der Schüttung durch einen Taucher bis zur Sohle der Baugrube mit Grand verfüllt. In den Grand wurde dann ein 20 cm weites, mit einem Filter versehenes Brunnenrohr eingerammt,

mit den aus den Umläufen abzweigenden Stichcanälen vorgesehen.

Es wurde auch die Möglichkeit ins Auge gefaßt, daß das Grundwasser von den vorhandenen Quellen aus die Bodenschicht unmittelbar unter dem Betonbett in größerer Ausdehnung durchdringen und so das Betonbett nach Trockenlegung der Baugrube unter starken Auftrieb setzen könnte. Um für solchen — bei der Bodenbeschaffenheit allerdings

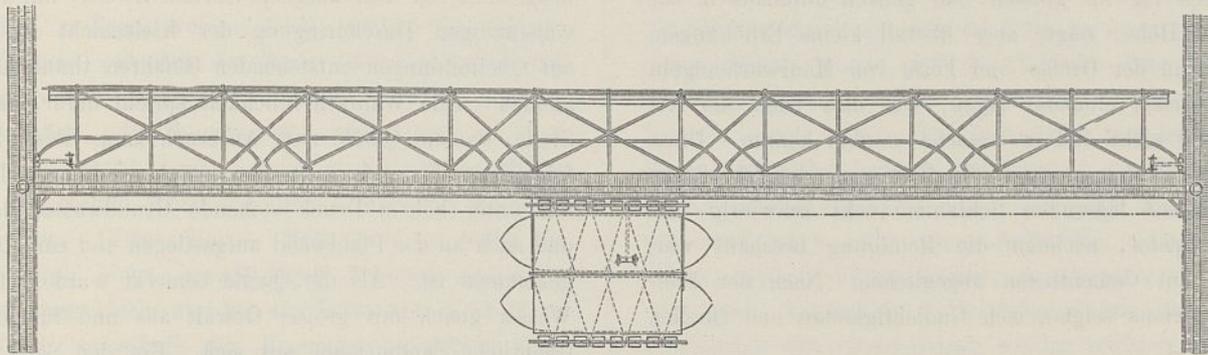


Abb. 85. Grundriß der Schwimmbrücke, der anschließenden festen Förderbrücken und des Versenkgerüsts.

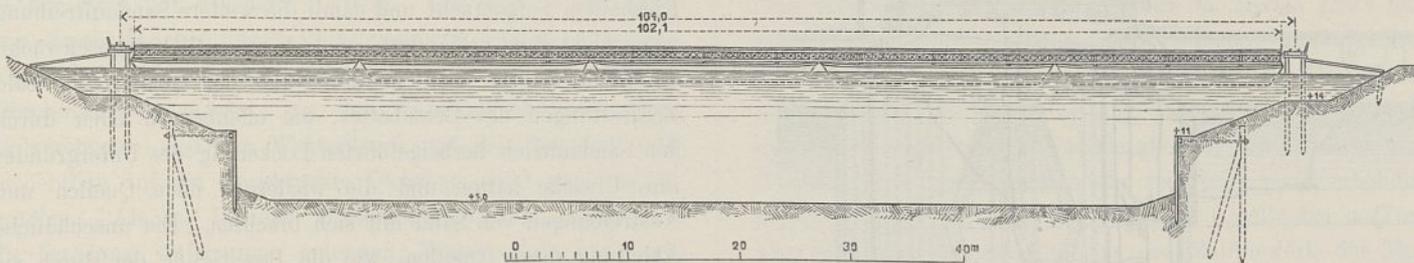


Abb. 86. Querschnitt durch die Baugrube und Ansicht der Schwimmbrücke.

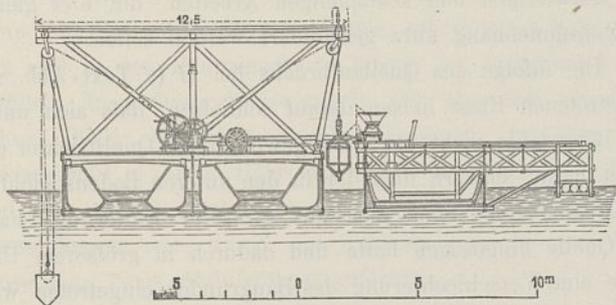


Abb. 87. Querschnitt durch Versenkgerüst und Schwimmbrücke.

Abb. 85—87. Betonversenkungsanlage.

durch welches das während der Betonschüttung etwa noch aufsteigende Quellwasser unschädlich abfließen konnte (s. Text-Abb. 88). Eine Blechtafel von 2 m Seitenlänge, die in der Höhe der Baugrubensohle um das Rohr gelegt und dicht mit ihm vernietet wurde, hatte die Bestimmung, einestheils das Empordringen von Wasseradern im Beton am Umfange des Rohrs zu verhindern und anderntheils das Rohr während des Einbetonirens gegen Umfallen zu schützen. Um während der Schüttung das Hineinfallen von Beton zu verhüten, war das Rohr oben mit einem Holzpfropfen verschlossen, es hatte aber gleich unter dem Pfropfen eine Anzahl seitlicher Löcher, durch die das etwa aufsteigende Quellwasser austreten konnte. Nach Vollendung der Gründungsarbeiten sollte das unter der einen Seitenmauer der Schleuse befindliche Rohr (Quelle II) durch ein aufgesetztes Kniestück in ein Zuleitungsrohr für die Spülung der Thorkammerböden geführt werden, um so jederzeit unschädlich abfließen zu können. Bei den Quellen I und III unter der Mittelmauer war eine ähnliche Verbindung

wenig wahrscheinlichen — Fall einem Aufbrechen des Betons entgegenzuwirken, wurde in der Achse jeder der beiden Schleusenöffnungen und in gleichen Abständen acht Löcher von je 20 cm Weite durch den Beton gebohrt; gleichsam als Sicherheitsventile, durch die das Wasser bei starkem Ueberdruck austreten konnte und deshalb vorkommendenfalls eine Verminderung des Auftriebs herbeigeführt werden mußte. Die Bohrung der Löcher wurde bei dem Wasser-

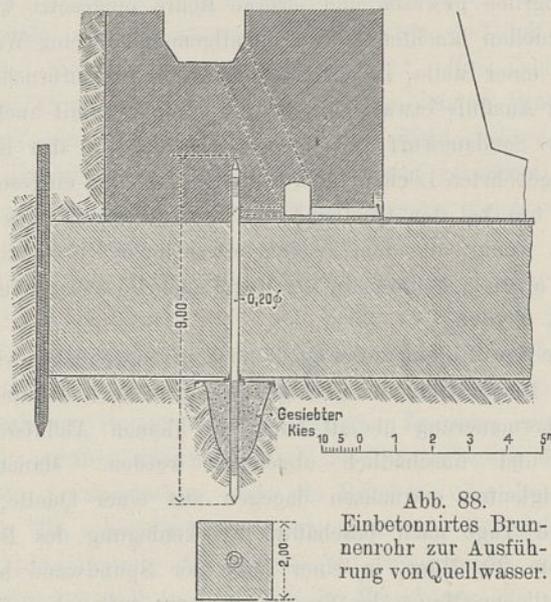


Abb. 88. Einbetonirtes Brunnenrohr zur Ausführung von Quellwasser.

stande von + 16,5 von Flößen aus bewerkstelligt. Um bei starkem Wasserausfluß ein Mitreißen von Sand aus den unteren Bodenschichten zu verhindern, wurden die Löcher

gleich nach ihrer Herstellung durch einen Taucher mit Kies verfüllt.

Am 21. Februar 1892, nachdem der zuletzt geschüttete Beton fast drei Monate Zeit gehabt hatte zu erhärten, wurde mit dem Auspumpen des Wassers aus der Baugrube behufs Trockenlegung des Betonbetts begonnen; die Arbeit wurde, um Rutschungen in den Böschungen zu vermeiden, langsam betrieben und erst bis Ende März vollendet. Die Oberfläche des Betonbetts lag im großen und ganzen durchaus in der planmäßigen Höhe, zeigte aber überall kleine Erhöhungen, die ungefähr in der Größe und Form von Maulwurfshügeln reihenweise neben einander lagen, wie dies nach der Art der Schüttung nicht anders erwartet werden konnte. Diese kleinen Unebenheiten machten die Reinigung der Oberfläche von dem darauf lagernden Schlamm recht schwierig und kostspielig; später, nachdem die Reinigung beschafft war, wurden sie mit Cementbeton abgeglichen. Nach der Freilegung des Betons zeigten sich Undichtigkeiten und Quellen

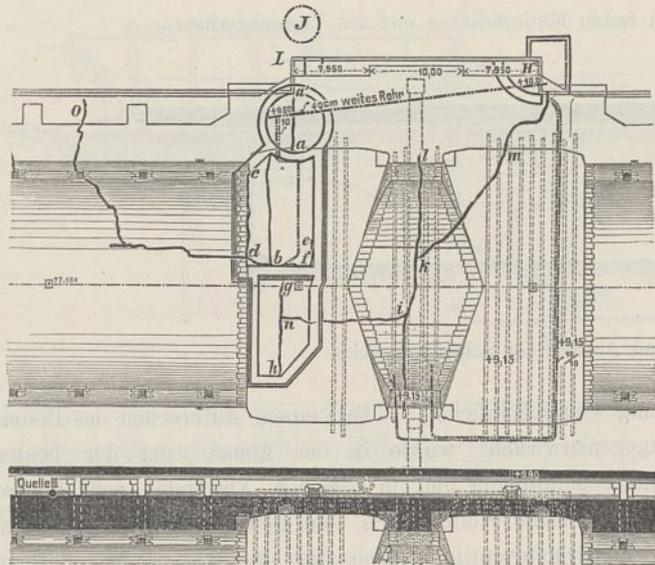


Abb. 89. Grundriß des Sperrthorhauptes mit Angabe der durch den Quellaufbruch herbeigeführten Risse im Beton.

zunächst nur da, wo früher die Quellaufbrüche in der Sohle der Baugrube gewesen und eiserne Rohre eingesetzt waren. Diese Quellen brachten jedoch im allgemeinen wenig Wasser. Nur an einer Stelle, in der Nähe des alten Sohlaufbruches II, war der Ausfluß etwas stärker, und es war damit auch ein geringer Sandauswurf verbunden. Aus den in das Betonbett eingebohrten Löchern floß nirgends, aus den eingesetzten Röhren nur bei den Quellen I und II Wasser aus, aus dem ersteren wenig, aus dem zweiten etwas mehr. Ueberall, wo Wasser austrat, konnten in der Regel auch Gasausströmungen bemerkt werden.

Die Bewältigung dieser Quellen machte nirgends Schwierigkeiten. Die austretenden geringen Wassermengen konnten bei der Uebermauerung überall leicht in kleinen Abflusrröhren gefasst und unschädlich abgeleitet werden. Mancherlei Schwierigkeiten erwuchsen dagegen aus einer Quelle, die erst acht Tage nach beschaffter Trockenlegung des Betonbetts, am 29. März, in einer Ecke der Spundwand hinter der westlichen Mauer des Sperrthorhauptes aufbrach (s. Text-Abb. 89). Die Entstehung dieser Quelle ist nur durch die Annahme zu erklären, daß die wasserführende Sandschicht hier stellenweise so hoch liegt, daß die Spundpfähle die

Kleischicht vollständig durchdrungen haben und bis in die Sandschicht hinabreichen. An die Möglichkeit, daß an der Spundwand Quellen entstehen könnten, war schon bei der Bearbeitung des Bauentwurfs gedacht worden. In dem Entwurf lag die Unterkante der Spundwand anfänglich auf  $+2,0$ ; sie wurde aber mit Rücksicht darauf, daß die wasserführende Sandschicht nach den Bohrungen stellenweise schon in der Tiefe von  $+2,6$  angetroffen war, auf  $+3,5$  festgestellt, zu dem ausgesprochenen Zweck, um die aus der vollständigen Durchdringung der Kleischicht in Beziehung auf Quellbildungen entstehenden Gefahren thunlichst zu vermeiden. Alle Wahrscheinlichkeit spricht dafür, daß an der Stelle, wo die Quelle zum Aufbruch kam, dieser Zweck infolge einer Verwerfung der Sandschicht nicht erreicht worden, das unter hohem Druck stehende Grundwasser daher nach und nach an der Pfahlwand aufgestiegen und zum Durchbruch gekommen ist. Als die Quelle bemerkt wurde, strömte das Wasser gleich mit großer Gewalt aus und führte sehr beträchtliche Sandmengen mit sich. Um den Sand zurückzuhalten, wurde über der Ausflußstelle schleunigst ein großer Kieshaufen aufgebracht und damit die weitere Sandauftriebung wenn nicht ganz verhindert, so doch wesentlich abgeschwächt. Trotzdem zeigten sich in der Nähe der Quelle sehr bald Zerklüftungen des Betonbetts, die offenbar in einer durch den Sandauftrieb herbeigeführten Lockerung des Untergrundes ihre Ursache hatten und die wiederum neue Quellen und Austreibungen von Sand mit sich brachten. Die unschädliche Ableitung dieser Quellen, wie die Beseitigung der durch sie entstandenen Schäden erforderten viel Sorgfalt und eine Reihe von schwierigen und kostspieligen Arbeiten, die hier gleich im Zusammenhang kurz geschildert werden sollen.

Die infolge des Quellaufbruchs bei H (s. Text-Abb. 89) eingetretenen Risse ließen darauf schließen, daß sich unter der Betonsohle nicht etwa ein gewöhnlicher Quelltrichter gebildet hatte, sondern daß der in den unteren Bodenschichten vorhandene feine Sand sich aus größerer Entfernung nach der Quelle hingezogen hatte und dadurch in größerem Umfange eine Verschlechterung des Baugrundes eingetreten war. Beweis dafür waren einmal die vielen Risse im Betonbett, die nach und nach hier entstanden, und sodann auch die im Juni 1892 hervorgetretene Erscheinung, daß die Spundwand von L bis H in ihrer ganzen Länge derartig verdrückt wurde, wie in der Text-Abb. 90 angedeutet ist. Endlich deutet

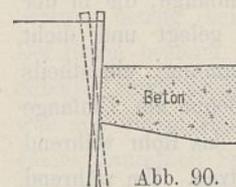


Abb. 90.

noch ein am 25. Juni erfolgter trichterförmiger Erdrutsch bei J (Text-Abb. 89) darauf hin, zu dessen Ausfüllung nach und nach 70 cbm Sand eingebracht werden mußten. Daß dieser Erdrutsch mit den Quellen in Verbindung stand, ging mit voller Sicherheit daraus hervor, daß der Wasserabfluß vorübergehend, offenbar durch die Bodenverschiebungen verstopft, sehr nachließ und erst nach und nach wieder in der früheren Stärke auftrat. Die nächste sichtbare Folge der Quelle war der Riß  $a a_1$  im Betonbett (Text-Abb. 89), gerade unter der aufzuführenden Mauer. Derselbe erweiterte sich rasch und ließ so große Wasser- und Sandmengen ausströmen, daß er schleunigst mit einem großen Kieshaufen überdeckt werden mußte, um den Sandauftrieb zurückzuhalten. Zur Bewältigung der

Quellen wurde zunächst bei *H* hinter der Spundwand, die den Beton umschloß, ein mit Spundwänden eingefasster Pumpensumpf hergestellt, der bis zum 26. Mai 1892 vollendet wurde. Um Sandauftreibungen zu vermeiden, wurde seine Sohle ausbetonirt. In die das Betonbett der Schleuse umschließende Spundwand wurde sodann ein Loch gehauen, sodafs das bei *H* austretende Quellwasser in den Pumpensumpf abfließen konnte und von der eigentlichen Baugrube abgehalten wurde. Sodann wurde die Quelle, wie die Text-Abb. 89 zeigt, in Bogenform ummauert, um in dem so hergestellten Schacht zwischen der Mauer und der Spundwand das Wasser so hoch ansteigen zu lassen, dafs der Auftrieb von Sand aufhörte. Die Spundwand mußte hierzu um 3 m, bis auf + 14,0 erhöht werden; durch starke eiserne Bänder wurde die aufgesetzte Wand mit dem gemauerten Brunnen-theil verbunden. Gleichzeitig — Mitte Juni — wurde der Rifs *a a*<sub>1</sub> durch einen kreisförmigen Brunnen ummauert. Das Wasser stieg hierin nur bis zur Höhe von + 12,25 an, weil es durch außerhalb des Brunnens befindliche Risse noch seitlich entweichen konnte, und fiel bei Niedrigwasser in der Elbe um ungefähr 0,30 m. Der Rifs wurde dann von einem Taucher durch Einbringen von Cementmörtel gedichtet. Vorher wurden vier eiserne Röhren von 10 cm Durchmesser eingesetzt, um den Wasserabfluß nicht ganz zu versperren und den Wasserdruck auf das Betonbett und namentlich auf die eingebrachte Dichtung nicht unnöthig zu erhöhen. Als der Brunnen trocken gelegt war, zeigte sich die Dichtung vollkommen gelungen; Wasser floß nur noch aus den eingesetzten Röhren, in reichlicher Menge zwar, aber sandfrei. Zur Ableitung dieses Wassers wurde das in dem Grundrifs (Text-Abb. 89) angedeutete 40 cm weite Rohr verlegt und in den Pumpenschacht hinter der Spundwand eingeführt. In gleicher Weise wurde der über der ursprünglichen Quelle bei *H* hergestellte Brunnen, nachdem der Wasserstand in ihm in Höhe von + 13,0 zur Ruhe gekommen und der Abfluß nach dem Pumpenschacht vorübergehend abgeschlossen war, durch den Taucher gereinigt und nach Einsetzung eines Abflußrohres gedichtet.

Schon bei der Bewältigung der Quelle innerhalb des kreisförmigen Brunnens stellte sich heraus, dafs der Rifs im Beton zuerst von *a* nach *b* sich verlängerte, und bald darauf, im Juni und Juli 1892, trat er in all den Abzweigungen hervor, die in der Text-Abb. 89 angedeutet sind. Ihre Entstehung ist offenbar lediglich auf den Quellaufbruch bei *H* zurückzuführen. Die Verdrückung der Spundwandstrecke *HL*, die Bodensenkung bei *J* und der zuerst in der Nähe von *L* und *J* entstandene Rifs *a'a* lassen darauf schließen, dafs die Quelle bei *H* ihren Hauptzufluß von *L* aus hatte und dafs durch diesen Grundwasserzufluß nicht nur der Boden am Fuß der Spundwand, sondern auch in der Richtung *Lab* aufgelockert worden war. So erklärt sich die im Betonbett eingetretene Senkung, die sich zuerst und am meisten durch die Risse in der Richtung *ab* bemerkbar machte und an der einen Seite bis an die Quelle *H*, an der anderen Seite bis *O* ausdehnte. Von dem durch die Mitte der Senkung gehenden Hauptriß wurde zuerst die Strecke *ab* und später auch die weitere Fortsetzung *gh* in ähnlicher Weise mit Brunnen-schächten ummauert und sodann abgedichtet, wie dies bei dem Rifs *a'a* schon vorher mit Erfolg geschehen war. Aus

den übrigen Rissen trat nur an einzelnen Stellen Wasser hervor und auch hier meist nicht in dem Maße, dafs zur Abdichtung und Ableitung ähnliche Maßnahmen, wie bei dem gedachten Hauptriß erforderlich wurden. Bezüglich des Risses *ikl*, der gerade in der Richtung des zwischen den Maschinenkammern der Sperrthore herzustellenden Tunnels lag, ist nur noch zu bemerken, dafs er für die Ausführung des Tunnels auf dieser Strecke erhebliche Schwierigkeiten befürchten liefs, und dafs deshalb beschlossen wurde, den gemauerten Tunnel hier durch ein eisernes Rohr zu ersetzen. Die Weite dieses Rohres wurde auf das für die Durchführung der Wasserdruckrohre noch genügende Maß von 60 cm festgesetzt. In den beiden letzten Baujahren 1893 und 94 brachen die Risse infolge der durch die Aufführung der Schleusenmauern herbeigeführten Spannungen und Setzungen zum Theil wieder auf, und wenn auch diese Aufbrüche weniger erheblich waren, als im ersten Baujahr, so zwangen sie doch dazu, dafs noch wiederholt Abdichtungsarbeiten in der vorbeschriebenen Art vorgenommen werden mußten.

Das Einbauen des eisernen Tunnelrohres und die Herstellung des Drempel-Mauerwerks konnte im Herbst 1893 ohne Schwierigkeit bewerkstelligt werden. Während der Aufstellung der Thore, die in den Monaten Mai bis August 1894 ausgeführt wurde, machte die Trockenhaltung der Kammer für die Fluth-sperrthore wegen einiger Undichtigkeiten, die in dem alten Hauptriß aufs neue hervortraten, zeitweilig recht erhebliche Schwierigkeiten. Zur Abdichtung einer Quelle bei *a'* (Text-Abb. 89) hatte im Anschluß an das Maurerwerk der Thornische noch ein Brunnenschacht aufgeführt werden müssen, der erst nach Fertigstellung der Thore, Anfang September abgebrochen wurde. Am 11. September waren alle Arbeiten soweit vollendet, dafs Wasser in die Schleuse eingelassen werden konnte. Bevor dies geschah, wurden die früher erwähnten Rohrleitungen, in denen das aus den verschiedenen Quellen zugeleitete Wasser nach dem Pumpensumpf vor dem Außenhaupt der Schleuse abgeführt wurde, sorgfältig geschlossen. Damit diese Leitungen für den Fall einer späteren Trockenlegung der Schleuse wieder wirksam werden können, haben die Rohre Ansatzstützen erhalten, die in die Spülcanäle der Thorkammern einmünden und mit selbstthätigen Klappverschlüssen versehen sind. Eine Quelle, die in der Thorkammer bei *b* noch in der letzten Minute vor dem Wassereinlassen aufbrach, wurde nicht mehr gedichtet oder abgeleitet, weil mit Sicherheit darauf gerechnet werden konnte, dafs sie beim Ansteigen des Wassers gleich versiegen und damit unschädlich werden würde.

Vor dem Beginn der Maurerarbeiten zur Herstellung der Schleusenmauern und der Sohlenabdeckungen wurden zur Verstärkung der Thorkammerböden und Drempel die aus dem Grundrifs und Längenschnitt Abb. 1 und 2 Bl. 53 u. 54 ersichtlichen Holzschwellen eingelegt. Es war, wie schon früher erwähnt worden ist, bei der Beschaffenheit des Baugrundes vorauszusehen, dafs die Belastung des Betonbettes durch die schweren Schleusenmauern eine ungleichmäßige Zusammenpressung des kleihaltigen Untergrundes zur Folge haben und deshalb in dem Theil des Betonbettes, der zwischen den Schleusenmauern liegt, ein Biegemoment entstehen werde, wobei die oberen Fasern auf Zug, die unteren auf Druck beansprucht werden mußten. Wie bekannt, sind auf

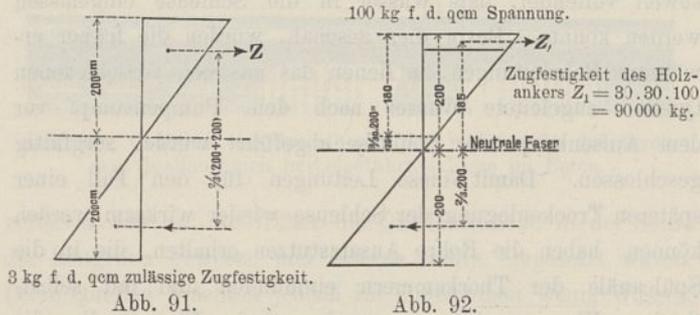
diese Weise bei vielen auf Beton gegründeten Schleusen mit nicht ganz festem Untergrunde Risse erzeugt worden, die sich der Länge nach durch die Sohle hinziehen. Solche Risse mußten auch hier befürchtet werden, und es lag daher nahe, Bedacht darauf zu nehmen, wie ihre Entstehung und Ausbildung, wenn nicht ganz verhindert, so doch auf ein unschädliches Maß beschränkt werden könne. Zweierlei Maßnahmen waren es, die zu dem Zweck angeordnet wurden: erstlich die Einlegung der vorerwähnten Holzschwellen und später im weiteren Verlauf der Bauausführung die Belastung der Sohlen der beiden Durchfahrtsöffnungen durch Erddämme.

Der Einlegung von Holzschwellen in die obere Schicht des Betonbettes lag der Gedanke zu Grunde, daß dadurch die Widerstandsfähigkeit des Betonkörpers gegen Durchbiegung wesentlich gesteigert werden könne. Nach den angestellten Untersuchungen war die Druckfestigkeit des Betons etwa sechsmal so groß, als die Zugfestigkeit. Wenn angenommen wird, daß eine Beanspruchung auf Zug für Beton von 3 kg/qcm und für Holz von 100 kg/qcm zulässig ist, so läßt sich die durch Einlegung von Holzschwellen zu erzielende Verstärkung in folgender Weise annähernd ermitteln. Das Betonbett allein von rund 4 m Stärke vermag auf 1 m Länge, in der Schleusenachse gemessen, ein Biegemoment aufzunehmen von (sich Text-Abb. 91)

$$\frac{200 \cdot 100 \cdot 3}{2} \cdot \frac{2}{3} (200 + 200) = 8000000 \text{ cm/kg.}$$

Wird dagegen in die obere Schicht eine Holzschwelle von 30/30 cm Stärke eingelegt, so berechnet sich das Biegemoment, unter Vernachlässigung der Zugfestigkeit des Betons, auf (s. Text-Abb. 92)

$$90000 (185 + \frac{2}{3} \cdot 200) = 28650000 \text{ cm/kg.}$$



Die eingelegte Schwelle erhöht mithin nach vorstehender Berechnung die Festigkeit des Betonbalkens auf mehr als das dreifache. Zu einem ähnlichen Ergebnis führte eine Anzahl von Versuchen, die zur Ermittlung der Tragfähigkeit von Betonbalken mit eingelegten Schwellen und ohne solche angestellt und in folgender Weise ausgeführt worden sind. Entsprechend den Maßverhältnissen der Thorkammerböden, wo der Abstand zwischen den Schleusenmauern 28 m beträgt und der Beton eine gleichmäßige Stärke von rund 4 m hat, wurden in  $\frac{1}{20}$  der natürlichen Größe Betonbalken hergestellt. Diese Balken, die bei den Belastungsversuchen auf 28:20 = 1,4 m freilagen, wurden in 1,60 m Länge und mit 20/20 cm Querschnitt angefertigt; sie bestanden aus einem Beton von 2 Theilen Ziegelschotter und 1 Theil Mörtel, der Mörtel war aus 3 Theilen Sand und 1 Theil Cement zusammengesetzt. Die 21 Tage alten Probekörper wurden durch Gewichte, die in der Mitte der Balken angehängt wurden, so lange belastet, bis der Bruch eintrat. Das Eigengewicht eines

Balkens ohne Anker betrug bei zwei Versuchskörpern 84,4 und 83,1 kg auf 1 m Länge. Ein Riß, der sofort den vollständigen Bruch des Balkens zur Folge hatte, zeigte sich bei einer Belastung von 250,5 und 265,5 kg. Die Festigkeit berechnet sich darnach zu 8,13 und 8,19 kg/qcm.

Die Holzschwellen von 30/20 = 1,5 cm im Geviert waren nach nebenstehender Text-Abb. 93 in den Betonbalken eingelegt und an den Enden durch kräftige Eisenbänder verankert. Das Eigengewicht des Balkens betrug auf 1 m Länge 78,85 kg. Die ersten Haarrisse zeigten sich bei einer Belastung von 543,5 kg, die Zerstörung erfolgte bei einer Belastung von 865,5 kg. Die Beanspruchung berechnet sich hiernach zu 15,72 kg/qcm beim Eintritt der ersten Haarrisse, zu 24,17 kg/qcm bei der Zerstörung, also auf ungefähr das dreifache der Beanspruchung des Balkens ohne Anker. Aehnliche Ergebnisse brachten Probekörper, bei denen die Holzschwellen durch Eisenstäbe ersetzt waren, und auch solche, bei denen die Holzschwellen nicht an den Enden verankert, sondern nach



Abb. 93.

vorstehender Text-Abb. 94 durch angeschraubte, über die ganze Länge des Balkens vertheilte Leisten gegen eine Lösung und Verschiebung im Betonkörper gesichert waren.

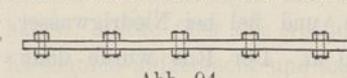


Abb. 94.

Auf Grund dieser Versuchsergebnisse wurde mit der Einlegung von Schwellen in die Thorkammerböden und Drenpel vorgegangen. Es kamen dazu hölzerne Balken zur Verwendung, die in diesem Falle einer Eisen-Einlage vorgezogen wurden, weil das Eintreten von Haarrissen in der oberen Betonlage doch nicht ausgeschlossen war und also darauf gerechnet werden mußte, daß es nicht möglich sein werde, eingelegte Eisenstäbe gegen Rost zu schützen. In die Thorkammerböden wurden je neun und in die Drenpel je vier Balken von 30/30 cm Stärke eingelegt. Ihre feste Verbindung mit dem Betonbett wurde, ähnlich wie bei den Versuchen durch die eingelegten Leistenstäbe, durch Ausklinkungen herbeigeführt, die auf die ganze Länge der Balken vertheilt und nach dem Verlegen sorgfältig mit Beton ausgestampft wurden (s. Text-Abb. 95) Besondere Aufmerksamkeit mußte zu dem Zweck, dem die Schwellen dienen sollten, noch auf die Stofsverbindungen verwandt werden. Wie in der Text-Abb. 95 angedeutet ist, wurden die stumpf gegen einander stofsenden Balken-Enden an beiden Seiten durch Riffelbleche, die durch

aufgelegte Winkeleisen und stark angezogene Schraubbolzen fest in die Holzfasern eingepreßt wurden, mit einander verlascht. Um ein festes Anliegen der Bolzen gegen die Lochwandungen in den Winkeleisen und Blechen zu erzielen, wurden eichene Keile mit schwerem Hammer in die Stofsungen eingetrieben.

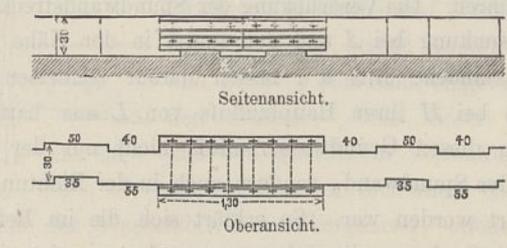


Abb. 95. Holzschwellen zur Verstärkung der Thorkammerböden.

Die Belastung der Sohlen der beiden Durchfahrtsöffnungen durch aufgeschüttete Erddämme wurde im Herbst und Winter 1892 nach dem in der Text-Abb. 96 dargestellten Querschnitt ausgeführt. Als die Kammermauern der west-

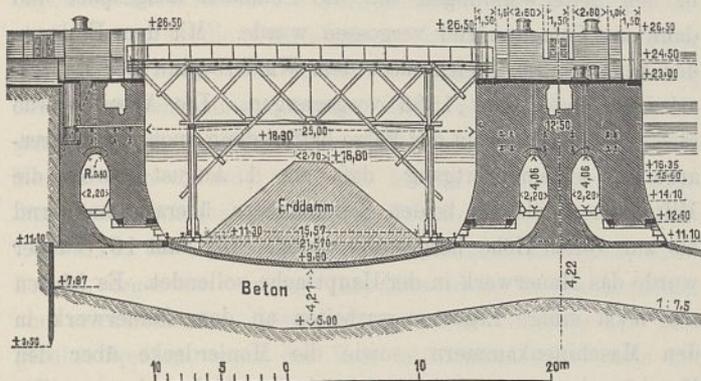


Abb. 96. Schnitt durch die Schleusenkammer mit dem zur Sohlenbelastung aufgeschütteten Erddamm und dem fahrbaren Gerüst zum Versetzen der Werksteine.

lichen Oeffnung bis auf ungefähr +14,0 aufgeführt waren, zeigten sich in dem fertigen Sohlengewölbe zwischen dem Aufsenhaupt und der Sperrthorkammer zwei feine Längsrisse, die offenbar schon eine Folge von ungleichmäßigen Setzungen des Betonbettes waren. Aehnliche feine Risse stellten sich bald darauf auch in den übrigen Theilen der Kammersohlen ein. Sie verliefen im allgemeinen gleichlaufend mit der Längsachse der beiden Durchfahrtsöffnungen in etwa 5,5 m Abstand von ihr. In den wesentlich ungünstiger beanspruchten, aber durch die eingelegten Holzschwellen verstärkten Thorkammerböden traten Risse zwar auch auf, aber die Rifsbildung war erheblich schwächer als in den Schleusenkammerböden. Um einer Erweiterung und Fortsetzung der Risse thunlichst vorzubeugen, wurde mit der schon früher in Aussicht genommenen Belastung der Schleusenböden unverzüglich vorgegangen, wobei der zu den Dämmen erforderliche Boden aus dem Binnenhafen entnommen wurde. Die Arbeit wurde thunlichst dem Fortschritt der Maurerarbeiten entsprechend gefördert und Mitte Januar 1893 beendet. Herausgenommen wurde der Boden aus den Thorkammern schon im Sommer und Herbst 1893, weil derzeit mit dem Einbauen der Schleusenthore begonnen werden mußte, im übrigen erst kurz vor der völligen Fertigstellung der Schleuse, im Sommer 1894.

Die Maurerarbeiten zur Herstellung der Schleusenmauern, der Drempe und der Kammerböden, wie auch der in das Betonbett eingelegten Tunnel wurden der Hauptsache nach in der Zeit vom 11. April 1892 bis zum 1. October 1893 ausgeführt. Die Tunnel wurden nach dem aus den Abb. 4 u. 5 Bl. 53 u. 54 zu ersehenden Querschnitte in Klinker-Mauerwerk hergestellt. Um sie gegen das Eindringen von Wasser thunlichst abzudichten, wurde das ganze Tunnel-Mauerwerk von aussen mit Blei-Asphalt-Pappe umkleidet, derart, daß die Pappe auf den noch frischen Cementputz gelegt und fest angedrückt wurde. Die Drempe und die Uebermauerung der Kammerböden konnten — mit alleiniger Ausnahme der westlichen Sperrthorkammer, wo die Ausführung durch die schon erwähnten Quellaufbrüche sehr erschwert und verzögert wurde — überall ohne Schwierigkeit hergestellt werden. Bei dem Aufbau der Mittelmauer und der beiden Seitenmauern wurde immer nach Möglichkeit

darauf gehalten, daß die Arbeiten überall gleichmäßig fortgeschritten, sodafs die drei Mauern sowohl unter sich, als in ihrer ganzen Länge jederzeit annähernd die gleiche Höhe hatten. Die Seitenmauern wurden überall gleich bis zu ihrer vollen jeweiligen Höhe hinterfüllt. Nachdem das so hergestellte Mauerwerk die Höhe von ungefähr +18,0 erreicht hatte, Ende September 1892, wurde in jeder der drei Mauern eine Anzahl von Querrissen bemerkt, die alle an solchen Stellen entstanden waren, wo der Mauerquerschnitt durch die Abfluscanäle aus den Umläufen geschwächt ist. Sämtliche Risse waren Haarrisse, eine Weite nicht meßbar. Zu diesen Rissen traten im Laufe des Winters, nachdem die Maurerarbeiten des Frostes wegen schon eingestellt waren, noch einige andere. Anfang Januar waren in der westlichen Seitenmauer 9, in der östlichen 8 und in der Mittelmauer 5 solcher Risse vorhanden. Einige von ihnen erstreckten sich nach oben hin durch die ganze Mauer und anscheinend auch in das Betonbett hinein, weil aus den Sohlenrissen Wasser ausspritzte. Die meisten begannen aber erst über der Sohle der Stichcanäle und endigten in der Höhe von +14 bis +16, also unterhalb des Gewölbes der Umläufe. Nur drei von ihnen hatten eine meßbare Weite, von 0,5 bis 3,2 mm.

Das Entstehen dieser Risse dürfte theils auf Zusammenziehung des Mauerwerks durch Frost, theils auf ungleichmäßige Sackungen in der Längenrichtung der Schleuse zurückzuführen sein. In der Annahme, daß die erstere Ursache überwiegend war, würde es zu erklären sein, daß sich die Risse mit wenig Ausnahmen nur auf den unteren Theil des Mauerwerks erstreckten. Dieser war meist bei hohen Wärmegraden ausgeführt, während der obere Theil des Mauerwerks erst im Herbst bei kühlerer Witterung hergestellt war. Auch wurde festgestellt, daß bei dem Eintritt wärmerer Witterung im Monat Februar die Weite des größten Risses von 3,2 auf 2,7 mm zurückging. Zum Theil sind die Risse aber wohl sicher auf ungleichmäßige Zusammenpressungen des Untergrundes zurückzuführen. Daß diese schon zu Anfang des Winters ein recht bedeutendes Maß erreicht hatten, läßt die nachstehende Tabelle erkennen, worin die bis zum 13. Januar 1893 am Fuß der Mauern eingetretenen Senkungen übersichtlich zusammengestellt sind. Die Lage der in der Tabelle (Seite 447) angegebenen Punkte, an denen die Senkungen gemessen waren, ist in der Text-Abb. 97 ersichtlich gemacht.

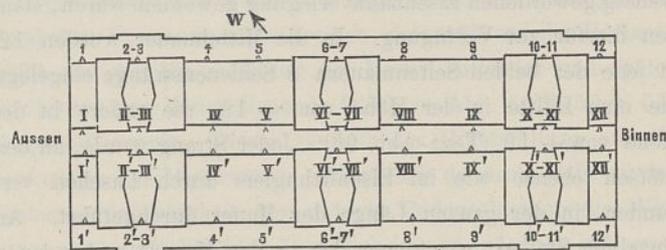


Abb. 97.

Es war vorauszusehen, daß bei weiterer Erhöhung der Mauern die Senkungen noch zunehmen würden, denn es fehlte in den Kronen der Häupter noch 8,5 m, bei den Kammern noch 5,0 m an der vollen Mauerhöhe. Von diesen zunehmenden Senkungen mußte aber auch eine weitere Ausbildung der Risse befürchtet werden, und es drängte sich demnach die

Punkt	Senkung in mm	Punkt	Senkung in mm	Punkt	Senkung in mm	Punkt	Senkung in mm
1	79	I	65	I'	55	1'	92
2—3	87	II—III	69	II'—III'	66	2'—3'	73
4	66	IV	55	IV'	50	4'	58
5	101	V	40	V'	50	5'	56
6—7	91	VI—VII	52	VI'—VII'	67	6'—7'	94
8	72	VIII	55	VIII'	58	8'	63
9	89	IX	65	IX'	75	9'	88
10—11	107	X—XI	124	X'—XI'	100	10'—11'	85
12	128	XII	145	XII'	150	12'	130

Frage auf, was zu thun sei, um eine Erweiterung der Risse und ihre Fortpflanzung bis in die oberen Theile des Mauerwerks zu verhüten. Zwei Maßnahmen wurden zu diesem Zwecke angeordnet und durchgeführt, erstlich eine zeitweilige Belastung des Mauerwerks durch aufgeschichtete Ziegelsteine und ferner eine Verstärkung des Mauerwerks gegen die in der Längsrichtung etwa auftretenden Zugspannungen durch Einlegung von Ankern.

Durch die Belastung der Mauern sollten die unvermeidlichen weiteren Sackungen thunlichst schon zu der Zeit herbeigeführt werden, in der die Maurerarbeiten des Frostes wegen unterbrochen werden mußten, weil angenommen wurde, daß, wenn bei der Aufführung der oberen Theile des Mauerwerks keine erheblichen Sackungen mehr eintreten würden, auch die Gefahr, daß die Risse sich bis oben fortpflanzen könnten, entsprechend herabgemindert werden würde. Die Belastung wurde in der Weise ausgeführt, daß die auf ungefähr +18,0 liegenden Mauerkronen in ihrer ganzen Länge und Breite bis zur Höhe von +20,8 mit Ziegelsteinen bepackt wurden. Dazu waren 8 Millionen Steine erforderlich. Sie wurden in den Monaten December und Januar aufgebracht und im Frühjahr kurz vor dem Wiederbeginn der Maurerarbeiten wieder beseitigt. Die infolge der Belastung eingetretenen Senkungen betragen im Durchschnitt etwa 40 mm, eine bemerkbare Erweiterung der Risse hatte nicht stattgefunden.

Die Einlegung von Ankern in die Schleusenmauern hatte einen ganz ähnlichen Zweck, wie die früher erwähnte Einlegung von Holzschwellen in die Schleusenböden; jede der drei Mauern sollte dadurch in den Stand gesetzt werden, größere Zugspannungen, wenn solche infolge der ungleichmäßigen Setzungen eintreten würden, mit Sicherheit aufnehmen zu können. Rund 7000 m alte Eisenbahnschienen, die bei der durch den Bau der Grüenthaler Brücke nothwendig gewordenen Eisenbahnverlegung gewonnen waren, standen hierfür zur Verfügung. In die Mittelmauer wurden 12, in jede der beiden Seitenmauern 8 Schienenstränge eingelegt, die eine Hälfte in der Höhe von +18, die andere in der Höhe von +19 (Text-Abb. 96). Jeder Strang wurde, an den Stößen ebenso wie im Eisenbahngleis durch Laschen verbunden, in der ganzen Länge der Mauer durchgeführt. An einzelnen Stellen, wo wegen der in den Mauern vorhandenen Schlitz- und Schächte die geradlinige Durchführung nicht möglich war, wurden zur Verstärkung noch kurze laschenähnlich wirkende Schienenstränge besonders eingelegt. Um die Laschenbolzen zum festen Anlegen an die entsprechenden Lochwandungen zu bringen, wurden beim Verlegen der Schienen Stahlkeile in die Stöße eingetrieben. Zur Erzielung einer möglichst festen Verbindung mit dem Mauerwerk wurden durch die

Stege der Schienen in Abständen von je 1 m Löcher gebohrt und in diese Löcher Bolzen von 2,5 cm Stärke und 50 cm Länge eingeschlagen. Das Einmauern der Schienen geschah in der Weise, daß zunächst ein kleiner Canal mit Einschlitzungen in den Seitenwandungen um die Schienen ausgespart und dann mit Cementmörtel vergossen wurde. Mit dem Einlegen der Anker wurde gleich nach dem Wiederbeginn der Maurerarbeiten Ende März 1893 vorgegangen. Die Arbeit wurde rasch beschafft, und in der Folge hatten denn auch die Maurerarbeiten solchen Fortgang, daß am 1. August sowohl die Mittelmauer, als die beiden Seitenmauern überall annähernd bis zur vollen Höhe hergestellt waren. Bis zum 10. October wurde das Mauerwerk in der Hauptsache vollendet. Es fehlten nur noch einige Ergänzungsarbeiten an dem Mauerwerk in den Maschinenkammern, sowie die Monierdecke über den Maschinenkammern und rund 450 cbm Abdeckplatten. Die Arbeiten in den Maschinenkammern konnten erst im Winter 1894 im Zusammenhang mit dem Einbau der Betriebsmaschinen und Rohrleitungen hergestellt werden. Die Monierdecken kamen noch im Herbst zur Ausführung. Die Verlegung der erst im Winter 1893/94 angelieferten Abdeckplatten erfolgte gleichzeitig mit anderen kleineren Restarbeiten am Mauerwerk und mit dem Einbau der Spille und Poller in den Monaten März bis Juli 1894.

Soweit zu dem Mauerwerk Cementmörtel zur Verwendung kam, wurde er in dem schon beim Betonieren bewährten Mörtelwerk trocken gemischt. Das erforderliche Wasser, zu dessen Herbeischaffung eine über die ganze Schleuse verlegte Wasserleitung mit zahlreichen Anschlußstellen eingerichtet war, wurde von den Maurern unmittelbar vor der Verarbeitung des Mörtels zugesetzt. Der zu einem Theil des Mauerwerks verwandte Cement-Trafs-Mörtel wurde in dem Mörtelwerk fertig hergestellt. Feste Gerüste wurden bei der Aufführung der Schleusenmauern nicht verwandt. Zum Versetzen der Werksteine dienten fahrbare Krane, in jeder der beiden Schleusenöffnungen zwei, deren Einrichtung in der Text-Abb. 96 dargestellt ist. Die in derselben Abbildung angedeuteten Gleise zwischen den Laufschienen für die Krane und den Schleusenmauern dienten zur Anfuhr der Werksteine; sie standen durch Gleise, die auf der noch nicht bis zur vollen Tiefe ausgehobenen Sohle des Binnenhafens verlegt waren, mit den am Binnenhafen gelegenen Lagerplätzen in Verbindung. Die Zufuhrgleise für Ziegelsteine und Mörtel lagen hinter den Seitenmauern — die, wie bereits erwähnt, dem Fortschreiten der Maurerarbeiten entsprechend immer gleich hinterfüllt wurden — auf dem angeschütteten Boden; bis dahin konnten die Ziegelsteine jederzeit durch Locomotivbetrieb herangeschafft werden. Beim Mittelpfeiler mußte das Zufuhrgleis auf der Mauer selbst liegen. Um dahin zu gelangen, wurde zuerst vom Vorhafen aus, später als die Kammermauern schon fast ihre volle Höhe erreicht hatten, über die Mitte der beiden Schleusenöffnungen eine Laufbrücke angelegt.

Zu den Arbeiten, die im letzten Baujahr, vom August 1893 bis dahin 1894 zur Ausführung gebracht wurden, gehören aufser den vorhin erwähnten Restarbeiten am Mauerwerk auch die Aufstellung und der Einbau der Thore. Mit der Anlieferung der zur Bewegung der Thore erforderlichen Maschineneinrichtungen war schon im Herbst 1892 begonnen worden und zwar unter Berücksichtigung des Fortschritts der

Maurerarbeiten, sodafs die einzumauernden Theile immer rechtzeitig zur Stelle waren. Sobald die Maschinenkammern im Mauerwerk fertig ausgebaut waren, im August und September 1893, wurde denn auch mit der Aufstellung der Motoren begonnen. Diese Arbeiten wurden gleichzeitig mit der Maschineneinrichtung für die Centralanlage, in der das Druckwasser zum Betriebe der Motoren und der Dampf für die Heizung der Maschinenkammern erzeugt wird, so gefördert, dafs die ganze Anlage im September 1894 bis auf einige kleinere Nacharbeiten vollendet war. Es fehlten derzeit zur vollständigen planmäßigen Ausstattung der Schleuse nur noch die Leitwerke, die zur Erleichterung der Einfahrt an beiden Stirn-Enden vorgesehen waren. Ihre Herstellung konnte bequemer von schwimmenden Rüstungen aus, also zu einer Zeit ausgeführt werden, wenn der Vor- und Binnenhafen schon mit Wasser angefüllt war, und wurde deshalb bis zum Frühjahr 1895 verschoben. Am

11. September wurde damit begonnen, Wasser in die fertige Schleuse einzulassen und die Dämme wegzuräumen, durch welche die Schleuse nach aufsen gegen die Elbe, nach innen gegen den bereits mit Wasser angefüllten Canal abgeschlossen war. Diese Arbeiten wurden in wenigen Wochen soweit beschafft, dafs am 27. October das erste Schiff durchgeschleust werden konnte. In Gegenwart einer gröfseren Zahl von Beamten der Canalbauverwaltung, wie von den beim Bau beschäftigten Unternehmern und Arbeitern, die sich zur Feier des Tages bei der Schleuse versammelt hatten, fuhr der stattliche hamburgische Dampfer „Blankenese“ von der Elbe aus, unter den Klängen des Liedes „Deutschland, Deutschland über Alles“ in die Schleuse ein. Er wurde dann durchgeschleust, um im Binnenhafen zu wenden und gleich darauf die Schleuse zum zweiten Mal durchfahrend wieder auf den offenen Elbstrom zurück zu kehren.

In den vorstehenden Mittheilungen ist schon auf die Schwierigkeiten hingewiesen worden, die sich bei dem Bau der Schleuse einestheils aus den Grundwasserverhältnissen und andertheils aus der über Erwarten grofsen Nachgiebigkeit des Untergrundes ergeben haben. Es sind auch die Mafsnahmen erörtert worden, die getroffen sind, um die hervorgetretenen Schwierigkeiten zu überwinden und die für die Standfestigkeit des Bauwerks entstandenen Gefahren abzuwenden. Zur Vervollständigung dieses in technischer Beziehung weitaus bemerkenswerthesten Theiles der Baubeschreibung, soll hier noch kurz mitgetheilt werden, wie die bereits erwähnten, aus der Nachgiebigkeit des Grundes hervorgegangenen Setzungen des Bauwerks sich bis zur Beendigung des Baues gestaltet

und in wie weit die aus Anlaß dieser Setzungen getroffenen Anordnungen sich als wirksam erwiesen haben.

Die Setzungen der Schleusenmauern wurden während der ganzen Dauer der Bauausführung von zehn zu zehn Tagen an verschiedenen Punkten gemessen. Die Ergebnisse dieser Messungen sind für die Mittelmauer und die östliche Seitenmauer des Binnenhauptes, wo nach der Zusammenstellung auf S. 417 die Setzungen am gröfsten waren, in der Text-Abb. 98 zeichnerisch dargestellt. Die Zeiten sind hier als Abscissen, die beobachteten Senkungen als Ordinaten eingetragen. Zwischen den Höhenlinien finden sich kurze Angaben über die Vorgänge, durch welche die Senkungen der Hauptsache nach veranlaßt worden sind. Eine nähere Betrachtung dieser übersichtlichen Darstellung läfst erkennen, dafs allmählich ein Gleichgewichtszustand eintrat, wenn die Belastung längere Zeit unverändert blieb, dafs aber jede Zunahme der Belastung sogleich wieder

neue Bewegungen zur Folge hatte. Die stärksten Senkungen traten ein in den Monaten Juli bis November 1892, als die Mauern in verhältnismäfsig kurzer Zeit von +14 auf +18 erhöht und gleichzeitig die Sohlenbelastungen eingebracht wurden, ferner im Spätherbst 1892 und im Winter 1893, als das Mauerwerk bis +20,8 mit Ziegeln belastet und die planmäßige Belastung des Schleusenbodens beendet wurde.

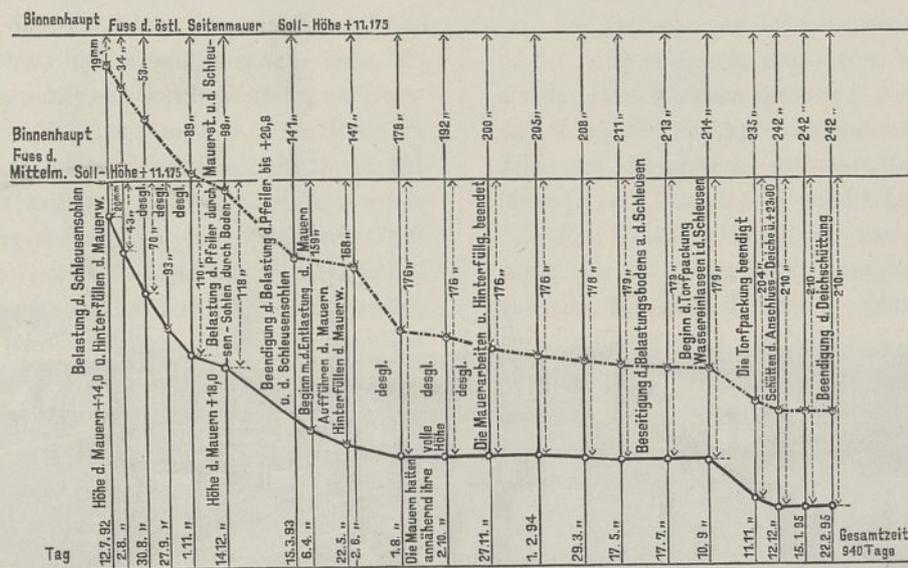


Abb. 98. Zeichnerische Darstellung der beobachteten Senkungen der östlichen Seitenmauer und der Mittelmauer.

Bezüglich der Seitenmauer ist zu bemerken, dafs auch die fortschreitende Hinterfüllung regelmäfsig neue Bewegungen des Mauerwerks herbeiführte. Dies trat am deutlichsten hervor in den Monaten Juni und Juli 1893, wo bei ungefähr gleichem Fortschritt der Maurerarbeiten die Senkung der Mittelmauer nur 8 mm, die der gleichzeitig hinterfüllten Seitenmauer dagegen 31 mm betrug. Auch die weiteren Senkungen der Seitenmauer bis zu dem Zeitpunkt, da Wasser in die Schleuse eingelassen wurde (10. Sept. 1894) sind zum gröfsten Theil dem Umstande zuzuschreiben, dafs während des Herbstes 1893 erst die Hinterfüllung der Mauer vollendet und später der hinter der Mauer liegende Deich (s. Abb. 4 Bl. 53 u. 54) hergestellt wurde. Dieser Einfluß der Hinterfüllung auf die Senkungen des Mauerwerks erklärt sich dadurch, dafs bei der Zusammendrückbarkeit der unteren Bodenschichten die Wirkung einer aufgebrachten Last sich immer auf einen gröfseren Umkreis bemerkbar macht. Aus demselben Grunde ist auch, wie durch Beobachtung festgestellt wurde, die östliche Ufermauer am Vorhafen, die völlig gesondert von der Schleuse auf einem Pfahlrost gegründet ist, in der Nähe der Schleuse gleichmäfsig mit dieser gesackt; die Senkung läuft auf eine Länge von ungefähr 25 m aus, in weiterer Entfernung von der Schleuse ist nirgends eine Senkung bemerkt worden.

Unter diesen Umständen war es geboten, die Hinterfüllung der Mauern mit besonderer Vorsicht auszuführen. Vor dem Füllen der Schleusenammern mit Wasser wurde sie daher überall, auch in dem Deichanschluss hinter den Häuptern, nur bis zur Höhe von +23,0 hergestellt. Die weitere Schüttung erfolgte erst im Herbst und Winter 1894/95, als der Schleusenboden schon durch das eingelassene Wasser belastet und durch diese Belastung eine weitere Senkung des Mauerwerks — in der Mittelmauer um 25 mm, in der Seitenmauer um 21 mm — herbeigeführt worden war. Um das Gewicht des Hinterfüllungsbodens in dem hinter den Häuptern noch fehlenden oberen Theil, der hier zugleich den Deichanschluss

die Deichschüttung nicht beeinflussten Mittelmauer reichlich dasselbe Maß erreicht, wie bei der Seitenmauer, bei der ersten 31, bei der letzteren 28 mm. In der Zeit nach dem 12. December 1894 sind keine weiteren Bewegungen beobachtet worden.

Die Querschnittsskizze, Text-Abb. 99, läßt ersehen, welchen Einfluss die Setzungen des Mauerwerks auf die Gestaltung des Querschnitts der Schleu-

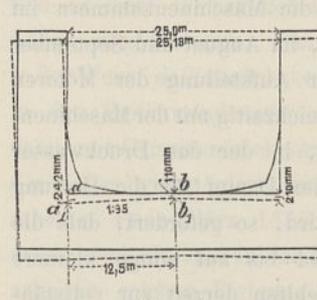


Abb. 99.

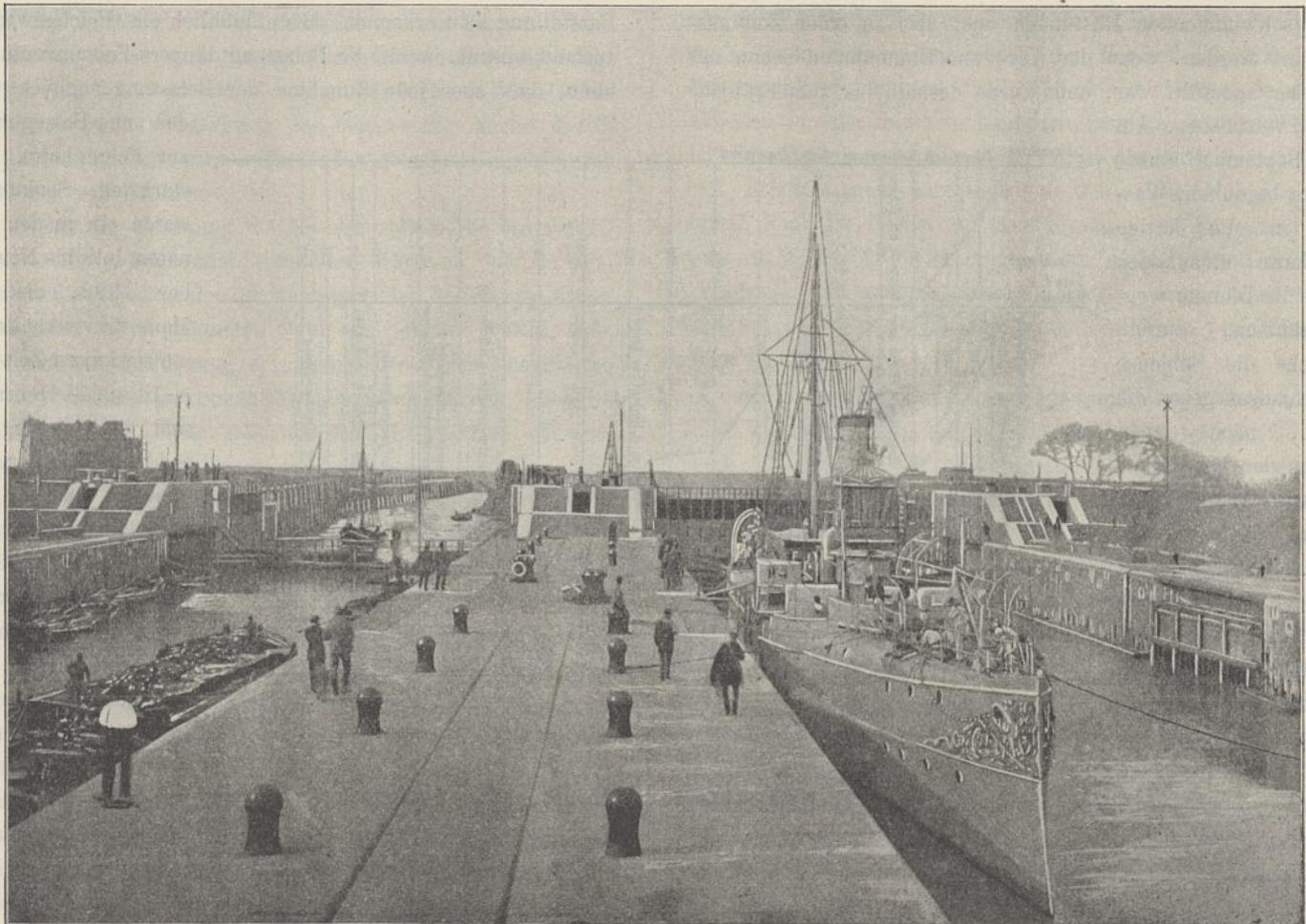


Abb. 101. Brunsbütteler Schleuse. S. M. Aviso „Jagd“.

bildet, thunlichst herabzumindern und damit weiteren Sackungen entgegen zu wirken, wurde die Hinterfüllung in 3 m Höhe — von +23,0 bis +26,0 — aus einem sehr leichten porösen Torf hergestellt. Bei einem spezifischen Gewicht des mäfsig durchfeuchteten Torfes von 0,3 stellt sich das Gewicht von 1 qm Torfpackung in 3 m Höhe auf  $3 \cdot 0,3 \cdot 1000 = 900$  kg, während das Gewicht der gleichen Masse Kleiboden etwa 5100 kg betragen hätte. Die Böschungen zu beiden Seiten der Torfpackung sind ebenso wie die weiter zurückliegenden Deichböschungen, aus gutem Kleiboden hergestellt, auch die Krone ist in 0,5 m Höhe mit Klei abgedeckt.

Der auf solche Weise hergestellte Deichanschluss hat, wie die Text-Abb. 98 ersehen läßt, meßbare Sackungen nicht mehr zur Folge gehabt. Denn die nach dem Einlassen von Wasser in die Schleuse während eines Zeitraums von drei Monaten noch eingetretenen Bewegungen haben bei der durch

senöffnung gehabt haben. Bei der auf der Mitte des Betonbalkens stehenden Mittelmauer hatten sich die Senkungen in der Breitenrichtung immer derart gleichmäfsig vollzogen, daß ein Ueberweichen der Mauer nach der einen oder anderen Seite hin nicht eingetreten war; die auf dem Ende des Betonbalkens stehende und noch durch die Zusammenpressung des Untergrundes durch die Hinterfüllungserde beeinflusste Seitenmauer hatte dagegen mit der Senkung zugleich eine Neigung nach hinten angenommen. Infolge davon hatte sich die Schleusenöffnung oben zwischen den Thorpfeilern von 25,0 m auf 25,18 m erweitert. Der Schleusenboden hatte sich trotz der Verstärkung durch die eingelegten Holzschwellen und trotz der aufgebracht Belastung nur um 110 mm gesenkt, 100 mm weniger als die Mittelmauer und 132 mm weniger als die Seitenmauer. Eine unausbleibliche Folge davon war die weitere Ausbildung der schon früher erwähnten Längsrisse in der Schleusensole.

Nachdem der Belastungsboden herausgeschafft und die Sohle überall wieder freigelegt war, zeigte sich, daß die Risse in der ganzen Schleusenlänge durchgingen und eine obere Weite bis zu 2 cm erreicht hatten. Wasser floß jedoch nicht aus, nur an einigen Stellen zeigte sich etwas Schwitzwasser. Danach war anzunehmen, daß das Betonbett nicht in ganzer Stärke gerissen war, und diese Vermuthung wurde dadurch bestätigt, daß die Risse schon in den Sohlen der Tunnel, die um 2,4 m über der Betonsohle liegen, nicht mehr sichtbar waren. Durch die Gewölbe der Tunnel zogen sich aber die Risse noch hindurch, und hier mußten sie, damit die Möglichkeit gewahrt blieb, die Tunnel später unter dem Druck des in der Schleuse stehenden Wassers trocken zu halten, sorgfältig gedichtet werden. Bei der Wahl der Dichtungsart war zu berücksichtigen, daß nach dem Einlassen von Wasser in die Schleuse noch kleine Bewegungen aufs neue eintreten würden. Die einzubringende Dichtung mußte daher thunlichst so hergestellt werden, daß sie feine neu eintretende Risse



Abb. 100.

selbstthätig zu schliessen vermochte. Zu diesem Zweck wurden, wie in der Text-Abb. 100 angedeutet ist, die Risse im Tunnel-Mauerwerk zunächst 10 cm tief mit keilförmiger Verengung nach unten ausgestemmt und dann theils mit Torfmüll, im übrigen mit Cementmörtel 1 : 1, dem zerkleinerte Eisengufsspäne beigemischt waren, ausgefüllt. Der Mörtel wurde möglichst steif angemacht und mit aller Sorgfalt fest eingestemmt. Außerdem wurden, um den Wassereintritt gleich von oben thunlichst abzuschneiden,

auch die Risse auf der Schleusensohle in ganzer Länge bis auf 3 cm Weite ungefähr 10 cm tief eingestemmt, sorgfältig gereinigt und dann zunächst mit dünnflüssigem Cementmörtel bis auf 8 cm unter der Oberfläche vergossen, hierauf in 4 cm Höhe mit Torfmüll ausgestampft und endlich in den oberen 4 cm mit Cementmörtel, wieder unter Beimischung von Eisengufsspänen ausgestrichen und verstemmt. Diese Dichtung hat sich sehr gut bewährt. Die Tunnel konnten, nachdem die Schleuse mit Wasser gefüllt war, mit Leichtigkeit trocken gehalten werden. In 24 Stunden sammelten sich nicht über 10 cbm Wasser an und dieses drang nicht etwa besonders durch die gedichteten Risse ein, sondern es schwitzte an verschiedenen Stellen und in großen Flächen aus dem Mauerwerk aus. Immerhin empfiehlt es sich, um die Dichtungen nicht mehr als nöthig zu beanspruchen, die Tunnel in der Regel voll Wasser zu halten und sie nur im Bedarfsfalle trocken zu legen.

Die zur Sicherung der Schleusenmauern gegen Spannungen in der Längenrichtung eingelegten Verankerungen haben sich als durchaus wirksam erwiesen. Nach ihrer Einlegung haben sich weder die vorhin erwähnten feinen Risse in dem unteren Theil des Mauerwerks erweitert oder nach oben hin verlängert, noch sind irgend welche neue Risse hervorgetreten.

Die Text-Abb. 101 ist nach einer photographischen Aufnahme der fertigen Schleuse vom 23. April 1895 hergestellt. Sie zeigt die Durchschleusung S. M. Aviso „Jagd“, der den Canal noch vor seiner Vollendung als erstes Schiff der deutschen Kriegs-Marine durchfahren hat.

(Fortsetzung folgt.)

## Uferdeckungen durch Binsen, Rohr, Schilf und Weiden.

Vom Regierungs- und Baurath Gerhardt in Königsberg i. Pr.

(Alle Rechte vorbehalten.)

Die Einfassungen mit lebenden Pflanzen sind für unsere Flüsse und Seen als Uferschutz nicht zu entbehren. Die Wasserpflanzen brechen die Kraft der Wellen, halten mit ihren Wurzeln den Boden fest, verhindern seine Abspülung und befördern durch die Verlangsamung der Wasserbewegung das Absetzen der Sinkstoffe, begünstigen somit die Auflandung der seichten Uferstrecken. Versumpfte Theile der Flußläufe, unzugängliche Seeränder werden durch Anbau von Wasserpflanzen erhöht und befestigt. Je breiter der Pflanzengürtel längs des Ufers ist, um so wirksamer ist der Schutz. An den ausgedehnten ungedeckten Küsten des Frischen und Kurischen Haffs vernichtet die Kraft der Wellen Jahr für Jahr fruchtbare Wiesen, altes Culturland, selbst bewohnte Stätten. Bei Agilla am Kurischen Haff ist auf alten Forstkarten eine Wiese von 215 m Breite verzeichnet: jetzt ist von ihr nichts mehr zu entdecken. Die Ordensruine Balga am Frischen Haff ist theilweise in das Wasser gestürzt. Vor den Fischerdörfern Preil und Perwelk auf der Kurischen Nehrung sind die Abbrüche des ungeschützten Ufers so weit vorgeschritten, daß einzelne Fischerhäuser nur zur Hälfte bewohnt werden können: die andere Hälfte ragt zertrümmert und des Fundaments beraubt über dem Wasser. Nur der kleinste Theil der Uferstrecken des Frischen und Kurischen Haffs ist bis jetzt durch Pflanzenwuchs geschützt. Immerhin sind hier durch mannigfaltige Ver-

suche werthvolle Erfahrungen gesammelt worden, deren Mittheilungen von Nutzen sein dürften. Sie werden ergänzt durch die uns zugänglich gewordenen Versuchs-Ergebnisse von anderen Orten.

Für die Befestigung der Ufer durch Pflanzenwuchs kommen hauptsächlich in Betracht: Binsen, Rohr, Schilf und Weiden. Diese Pflanzen müssen in der angegebenen Reihe vom Wasser nach dem Lande einander folgen und gemeinsam den Uferschutz ausüben. Die Binsen dringen am weitesten in das Wasser vor, sie finden sich bis 2 m Wassertiefe. Das Rohr beherrscht vorzugsweise denjenigen Theil des Strandes, welcher zwischen 0,6 und 0,1 m unter dem gewöhnlichen Sommerwasser liegt; das Schilf folgt in der Wasserspiegellinie und aufwärts bis 0,3 m über derselben; demnächst beginnt erst der Weidenschutz.

Die wichtigste von diesen Pflanzen ist das Rohr, Arundo Phragmitea oder Phragmites communis. Es bildet mit seinen steifen Halmen eine gute Abwehr gegen die Wellen, durchzieht mit seinen Wurzeln kräftig den Boden und wuchert so stark, daß es in der ihm zusagenden Wassertiefe Binsen und Schilf bald verdrängt. Der Anbau des Rohrs muß daher vor allen Dingen gepflegt werden. Es gedeiht am besten auf Sandboden, welcher mit Schlamm und Moorerde gemischt ist, aber auch auf reinem humusarmen Sande und selbst in feuchtem Kies. Im

Wasser findet es sich bis 1 m, selbst bis 1,5 m Tiefe, gedeiht aber auch bis 0,5 m über dem Mittelwasser. Es hat den Vorzug, selbst in brackigem Wasser noch fort zu kommen: im Hinterhafen von Pillau sowie bei Neutief an der Frischen Nehrung wächst es üppig; im Kurischen Haff dringt es vor bis zur kleinen Hirschwiese im Memeler Tief gegenüber Schmelz. Die Wurzel treibt 5 bis 10 cm tief im Boden wagerechte Schößlinge nach allen Seiten so zwar, daß der Boden von ihnen vollständig durchflochten wird. Aus den Schößlingen wachsen die Rohrhalm senkrecht empor. Am Ufer und in geringer Wassertiefe dringen die Wurzeln fest in den Boden hinein; bei größerer Tiefe aber bilden sie eine filzartige schwimmende Decke, welche sich bei niedrigem Wasserstande fest auf dem Boden auflegt, bei steigendem Wasser aber aufwärts schwimmt. Erst in späteren Jahren, wenn Sand und andere feste Bodentheile in die Rohrkämpen hineintreiben und die Wurzeldecke belasten, hört das Aufschwimmen auf.

Die Cultur des Rohres kann auf vier verschiedene Arten erfolgen: durch Saat, durch Stecklinge, durch Pflanzung von Wurzeln oder Pflanzen von Ballen (Büscheln oder Bulten). Durch Saat<sup>1)</sup> erfolgt die Cultur derartig, daß der Rohrsamen im August gesammelt und an einem trocknen Ort über Winter aufbewahrt wird. Im Frühjahr, nämlich im April und Mai, wird er in Lehmkugeln von 20 bis 26 cm Größe eingeknetet und in flachem Wasser derartig versenkt, daß die Kugeln gerade vom Wasser bedeckt werden. Hauptbedingung ist, daß die zur Saat benutzten Stellen vollkommen ruhig und vor jeder Wellenbewegung geschützt sind. Denn die Bewegung des Wassers würde den Lehm auflösen und mit dem Lehm auch den leichten Rohrsamen entführen. Aus diesem Grunde ist die Cultur durch Saat unzuverlässig. Sie ist nur in sehr flachem, vollkommen stillem Wasser möglich, wie in abgeschnittenen Flusssarmen und seichten Seen. Hier ist sie der bequemen Ausführung wegen zu empfehlen. Im Frischen und Kurischen Haff sind alle Versuche, Rohr durch Saat anzupflanzen, mißlungen.

Als Stecklinge werden im Mai oder Juni junge Rohrhalm unmittelbar über dem Wurzelknoten abgeschnitten und in regelmäßigem Verbands mit 0,3 bis 0,5 m Entfernung einzeln gepflanzt. Der Arbeiter benutzt einen mit eiserner Spitze beschlagenen Pflanzstock, stellt mit demselben ein etwa 0,2 m tiefes Loch her und schiebt in demselben Augenblick, in welchem er mit der einen Hand den Stock aus dem Boden herauszieht, mit der anderen Hand den Rohrhalm in das offene Pflanzloch. Der Halm wird sofort in die vom Wasser bewegte lose Erde eingeschlemmt und festgehalten. Durch ein leichtes Anziehen überzeugt man sich, ob er fest genug im Boden steckt.

Die Cultur ist einfach und billig. Sie muß aber bei niedrigem Wasserstande ausgeführt werden, etwa bis 0,3 m Wassertiefe, und ist in der beschriebenen Art auch nur ausführbar in moorigem, lehmigem und sandigem Boden. Ist der Boden mit größeren Steinen durchsetzt oder mit Geröll bedeckt, so empfiehlt sich die Anwendung der vom Förster Sorge in Neu-Dziergunk bei Ramuck O.-P. erfundene Pflanzzange.<sup>2)</sup> Es ist dies eine hölzerne Zange oder Schere mit Schenkeln von 0,35 und 0,9 m Länge. Die langen Schenkel sind an den Enden mit Hand-

haben, die kurzen mit eisernen Spitzen versehen. In den kurzen Schenkeln sind außerdem Nuthen eingeschnitten, welche neben dem Drehzapfen vorbei führen, sodafs ein in die Nuthen gelegter Steckling unbeschädigt mit der geschlossenen Zange festgehalten werden kann. Die Zange wird in den Boden gestofsen, geöffnet und aufwärts gezogen, während man den Steckling festhält. Letzterer wird nöthigenfalls mit dem Fufs fest getreten. Die Anwendung einer solchen Pflanzzange ist auch in weichen Bodenarten zu empfehlen, weil es dann mit größerer Zuverlässigkeit gelingt, den Steckling tief genug in den Boden einzuführen. Die Spitzen des Stecklings müssen aber stets über dem Wasser emporragen. Das Abschneiden der obersten Rohrenden bis zum ersten Wurzelknoten, welches früher vom Oberforstmeister Müller empfohlen wurde,<sup>1)</sup> ist nicht erforderlich.

Starker Wellenschlag wäscht die Stecklinge aus dem Boden. Es ist daher die Stecklingspflanzung da unmöglich, wo heftige Wasserbewegungen auftreten. In ähnlicher Weise wirken die Schädigungen durch das Eis: letzteres friert mit den Halmen zusammen und hebt dieselben aus dem Boden heraus. Um den Nachtheil durch das Eis möglichst zu verringern, sollen im Herbst vor Eintritt des Frostes die Stecklingspflanzungen tief abgemäht werden. Dann kann die Eisdecke sich nur über den Stoppeln bilden und die einzelnen Halme nicht treffen. Im Frischen und Kurischen Haff ist die Stecklingspflanzung mehrfach angewandt worden, aber im allgemeinen mit zweifelhaftem Erfolg: die nachtheiligen Einfüsse von Wellenschlag und Eis waren zu groß. Es bildeten sich aus den Stecklingspflanzungen immer nur lichtbestockte Rohrkämpen.

Die Wurzelpflanzung soll nach der von Müller gegebenen Anweisung mit Hilfe einer 15 bis 20 cm weiten Drainröhre geschehen. Dieselbe wird im April oder Mai unter Wasser senkrecht auf den Grund gestellt und der in ihr befindliche Boden auf 8 bis 12 cm Tiefe ausgehoben. Dann werden die Rohrwurzeln in die Röhren geworfen und mit dem herausgenommenen Boden überschüttet. Die Röhren bleiben zum Schutz der jungen Pflanzen im Boden stecken. Durch den Aufwand an Drainröhren wird die Pflanzung theuer. Nur an vollkommen geschützten Stellen sowie an solchen Orten, wo durch vorhandene Binsen die Kraft der Wellen gebrochen ist, bedürfen die Rohrwurzeln des Schutzes der Drainröhren nicht. Es genügt da, die Wurzeln auf etwa 3 cm Tiefe in den Boden einzubetten. Die zur Cultur erforderlichen Rohrwurzeln können leicht auf große Entfernungen bewegt werden. Trotz dieses Vortheils wird aber die Wurzelpflanzung nur wenig angewandt: die Büschelpflanzung ist sicherer.

Die Büschel- oder Bultenpflanzung ist diejenige Pflanzungsart, welche sich am besten bewährt hat und deshalb allen übrigen Verfahren vorgezogen wird. An den Ufern des Frischen und Kurischen Haffs wird sie jetzt fast ausschließlich angewandt. Sie wird ausgeführt so früh wie möglich in den Monaten Mai oder Juni. Früher ist sie selten ausführbar, weil die Arbeiter den Aufenthalt im kalten Wasser nicht ertragen können. Die Zeit muß gut ausgenutzt werden, denn schon von Mitte Juni ab ist der Erfolg unsicher. Zum Werben der Pflanzen werden zeitig im Frühjahr, sobald die Rohrspitzen über dem Wasser emporwachsen, aus vorhandenen Rohrkämpen Ballen in der Größe von 0,22 m im Geviert herausgestochen. Sie müssen

1) Vergl. die Abhandlung des verstorbenen Oberforstmeisters Müller in den Mittheilungen des Vereins zur Förderung der Moorcultur im Deutschen Reiche vom 15. Juni 1892, S. 207.

2) S. Bericht des Oberförsters Winkel in Neu-Ramuck in den Verhandlungen des Ostpreussischen Forstvereins von 1878.

1) Verhandlungen des Ostpreussischen Forstvereins 1877 S. XXX.

solchen Stellen entnommen werden, wo bei dichtestem Stande des Rohres der Ballen fest und gut zusammenhält und möglichst viel Halme trägt. Man sticht die Ballen mittels eines scharfen Spatens entweder in schachbrettartigen Feldern oder in 1,5 m breiten Streifen aus. Zwischen den ausgestochenen Streifen bleiben eben so breite Streifen mit vollem Rohrbestande stehen. Auf diese Weise werden die Horste nicht zu sehr gelichtet, das Zusammenwachsen der Lücken wird erleichtert.

Die Ballen werden möglichst vorsichtig in bereitgehaltenen Nachen verladen; sie werden darin neben einander gestellt, nicht über einander geschichtet. Wenn irgend zugänglich, sind sie demnächst sofort zu verpflanzen. Ist dies nicht ausführbar, müssen die Ballen längere Zeit aufbewahrt werden, so sind sie sorgfältig vor den Sonnenstrahlen zu schützen. Es geschieht dies am besten durch Einschlagen der Ballen am Ufer in den dort vorhandenen gewöhnlich feuchten Sand, nicht etwa durch Einlegen in seichtes Wasser. Denn in letzterem Falle würden die geringen Wellenbewegungen des Wassers den Boden aus den Ballen auswaschen und dadurch diese selbst unbrauchbar machen.

Die Wassertiefe, bis zu welcher das Pflanzen der Rohrballen möglich ist, beträgt 0,75 m, in der Regel wird jedoch 0,4 bis 0,5 m nicht überschritten, weil nur bei dem Pflanzen in flachem Wasser mit Sicherheit auf einen guten Erfolg gerechnet werden kann. Zu beachten ist, daß die Spitzen der Rohrhalme, wie die Spitzen der Setzlinge, ein wenig aus dem Wasser emporragen, sodafs die Ballen mit der Luft in Verbindung bleiben. Deshalb ist auch ein starkes Stutzen der Halme, welches häufig beliebt wird, nicht nur nicht erforderlich, sondern unter Umständen sogar schädlich. Knicken und Quetschen beim Ausheben und Verfahren muß nach Möglichkeit vermieden werden, doch sind Knicke und Quetschungen nicht unbedingt schädlich, sofern das Pflanzen in flachem Wasser geschieht.

Am Frischen Haff werden die Ballen gewöhnlich derartig verpflanzt, daß für die 22 cm großen Ballen von einem Arbeiter möglichst schnell passende Löcher gegraben werden. Dieselben werden 1 bis 2 m entfernt hergestellt und so tief, daß der hineingesetzte Ballen noch einige Centimeter unterhalb des umgebenden Erdbodens sich befindet. Demnächst wird von einem anderen Arbeiter der Ballen schnell und vorsichtig eingebracht, mit den Füßen festgetreten und der umliegende erhöhte Boden auf das Pflanzloch verscharrt. Alle diese Arbeiten erfordern eine gewisse Geschicklichkeit. Das Festtreten ist unbedingt erforderlich. Eine weitere Befestigung ist in sandigem und moorigem Boden entbehrlich, denn die Ballen saugen sich in solchen Böden bald fest. Nur in bindigen Böden ist die Verbindung des Ballens mit dem Grunde schwerer zu erreichen, weil die Wände des Pflanzloches senkrecht stehen bleiben und die eingebrachte Füllerde vom Wasser leicht fortgespült wird.

In diesen Fällen, sowie dann, wenn Wellenschlag und Eis zu befürchten sind, kommt im Frischen Haff das Nageln der Ballen zur Anwendung. Nach dem Vorschlage des Oberforstmeisters Müller geschieht dies mit Hilfe von zwei hölzernen Hakenpfählen für jeden Ballen. Der Dünenmeister Kemnitz in Grofs-Bruch auf der Frischen Nehrung benutzt 50 bis 60 cm lange Pfähle mit oberem Querpflöck, welche er mittels eines Aufsetzers einschlagen läßt. Der Aufsetzer besteht aus einem 1,2 m langen, 8 cm starken Pfahl aus Birkenholz. Derselbe trägt unten einen eisernen Ring, der den Pfahl um 1 cm überragt, und oben einen Handgriff. Das Befestigungspfählen

wird mit der Spitze in den Ballen gesteckt, demnächst dieser versenkt, verscharrt und festgetreten. Dann wird von einem Arbeiter der Aufsetzer auf den Pfahl gesteckt und am Quergriff festgehalten; der andere Arbeiter treibt mit einem hölzernen Schlägel den Befestigungspfahl bis zum Querpflöck in den Ballen.

Eine besondere Art der Nagelung, durch welche gleichzeitig den jungen Pflanzen Schutz gegen Wellenschlag und Eis gegeben wird, hat der Wasserbauinspector Ladisch in Swinemünde bei der Befestigung der neuen Ufer der regulirten Swine ausgeführt. Es wurden ungefähr in der Höhe des mittleren Wasserstandes drei bis vier Längsreihen von Rohrballenpflanzen mit 1 m Entfernung angelegt und durch Querreihen mit 2 m

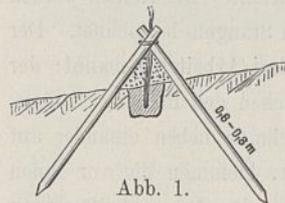


Abb. 1.

Entfernung verbunden. In den Reihen wurden die Ballenpflanzen mit 0,5 m Entfernung gesetzt. Demnächst wurden nach Abb. 1 die jungen Rohrpflanzen mit Faschinenstrauch bedeckt, und letzteres in Abständen von 0,6 bis 1,5 m durch je zwei schräg eingeschlagene, an ihren Köpfen mit Draht verbundene Bühnenpfähle zusammengehalten. Das Verfahren hat sich gut bewährt, das Rohr ist gut angewachsen und hat unter dem Eisschub nicht gelitten. Nach Bedarf müssen die Pfähle vor Eintritt des Frostes nachgeschlagen werden.

Stehen Ziegelbrocken oder andere kleine Steine zur Verfügung, so kann das Nageln auch dadurch ersetzt werden, daß man die Ballen mit Steinen belastet. Eine 10 cm hohe, locker aufgebraute Schicht genügt zur Befestigung. Die Entwicklung des Rohres wird durch die Steindecke wenig beeinträchtigt. Dies Verfahren ist zur Uferbefestigung am Grofsen Friedrichsgraben von dem Strommeister Steinert mit Erfolg angewandt worden.

Im Kurischen Haff hat sich aus Sparsamkeitsgründen aber mit gutem Erfolg das Pflanzen kleiner Rohrballen eingeführt. Der Düneninspector Epha in Rossitten auf der Kurischen Nehrung läßt die großen Ballen, welche beim Stechen gewonnen werden, in vier Theile zerlegen. Diese kleineren Büschel werden dann in Reihen senkrecht gegen das Ufer verpflanzt. Die Reihen erhalten 2 m Entfernung, die Pflanzen in den Reihen 1 m Abstand. Die Arbeiter stehen im Wasser längs einer Pflanzschnur. Der erste und letzte Arbeiter befestigen die Schnur an langen Stangen in dem Boden so, daß sie schwimmt. An jedem Knoten der Pflanzschnur stehen zwei Mann; der erste drückt den Pflanzspaten tief in den Boden hinein, der zweite senkt den Rohrballen in das Wasser und führt ihn mit der Spitze des Fußes gegen die Rückseite des Spatens. In dem Augenblick, in welchem der erste Arbeiter den Spaten aus dem Boden zieht, drückt der zweite den Ballen in das entstandene Pflanzloch hinein und tritt ihn mit dem Fuß von allen Seiten fest. Andere Arbeiter tragen die am Ufer oder in Nachen liegenden Pflanzballen den im Wasser beschäftigten Arbeitern zu. Hauptgewicht wird auf ein möglichst festes Eindringen der Wurzelballen in die Pflanzlöcher gelegt. Ein Nageln findet nicht statt. Das Verfahren hat sich gut bewährt.

Der Dünenmeister Schiweck in Süderspitze auf der Kurischen Nehrung läßt in gleicher Weise die gestochenen großen Ballen so weit zerlegen, daß nur zwei bis vier Halme in jedem Büschel verbleiben. Die so gewonnenen kleinen Büschel werden in Reihen gleichlaufend mit dem Ufer gepflanzt. Die Reihen erhalten wiederum 2 m Entfernung und die Pflanzen 1 m Ab-

stand. An Stelle der Pflanzschnur treten Pfähle, welche die Reihen bezeichnen und zwischen welchen der mit den Ballen beladene Nachen vorwärts bewegt wird. An beiden Seiten des Nachens werden zwei Arbeiter gleichzeitig beschäftigt: der eine drückt den Pflanzspaten tief in den Boden hinein, der andere senkt den Rohrballen wie vorher in das Pflanzloch und tritt ihn fest.

Auf unzugänglichen versumpften Strecken, deren Betreten ganz unmöglich ist, kann die Rohrpflanzung mit Hilfe eines von Schiweck erfundenen hölzernen Pflanzspatens unmittelbar vom Nachen aus bewirkt werden. Aus festem 5 cm starkem Holz wird nach Abb. 2 ein Spaten geschnitten, welcher oben

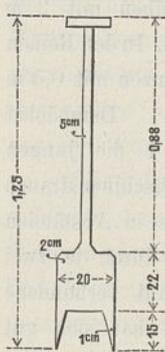


Abb. 2.

einen Quergriff, unten ein Blatt mit zwei spitz verlaufenden Zinken erhält. Die Reihen werden wie gewöhnlich durch Stangen bezeichnet. Der Nachen wird durch drei Arbeiter bemannt: der eine schiebt ihn zwischen den Reihen vorwärts, die beiden anderen nehmen neben einander auf einem Sitzbrett Platz, klemmen die vor ihnen liegenden Pflanzballen in den gabelförmigen Ausschnitt ihrer Spaten und drücken letztere auf beiden Seiten des Nachens tief in den schlammartigen Boden ein. Mit einem kurzen Ruck werden die Spaten emporgezogen; sie

lassen alsdann die Ballen in dem Boden zurück. Auch hierbei muß darauf geachtet werden, daß die Pflanzenspitzen stets über dem Wasser emporragen.

Das in späteren Jahren nöthige Nachpflanzen des Rohres kann in derselben Weise durch Pflanzen von Ballen, unter Umständen aber auch durch Absenken des Rohres geschehen. Zu diesem Zweck werden kräftige Rohrhalm in der Richtung nach dem Ufer niedergelegt und durch Hakenpfähle festgehalten. Es entwickeln sich dann aus den Knoten neue Wurzeln. Das Schneiden des Rohres darf nur im Spätherbst oder Winter geschehen. Das grüne Rohr leidet unter dem Schnitt während der Zeit des Wachstums, es verblutet sich und geht ein.

Die Binse, *Scirpus lacustris*, bildet in tieferem Wasser dichte Bestände, besonders auf torfigem, weniger auf sandigem Boden. Sie erträgt wegen der außerordentlichen Biegsamkeit des Halmes starke Angriffe durch Wellen und Stürme ohne geknickt, beschädigt, herausgerissen oder in der Wurzel gelockert zu werden. Aber die große Biegsamkeit giebt andererseits Veranlassung, daß die Binse einen viel geringeren Uferschutz abgiebt als das Rohr. Gänzlich verloren geht der Schutz, wenn die Binse im Herbst nach der Reife abstirbt und abbricht. Darum haben die Binsenpflanzungen den Nachtheil, daß sie gerade in der stürmereichen Zeit während des Herbstes und Frühjahrs keinen Schutz gewähren. Aber andererseits entsteht durch das Absterben der Halme wiederum der Vortheil, daß die Pflanzen durch das Eis nicht leiden, denn sie werden von ihm nicht getroffen. Die Entwicklung der Wurzel ist wesentlich verschieden von derjenigen der Rohrwurzel. Während das Rohr kräftige Ausläufer treibt, welche den Boden nach allen Richtungen hin durchziehen, treibt die Binse vom Wurzelstock aus eine große Zahl feiner Faserwurzeln, welche den Boden unmittelbar neben der Pflanze filzartig ausfüllen und ihn dadurch befestigen.

Die Binse kann wie das Rohr durch Saat oder Büschel fortgepflanzt werden. Der größeren Zuverlässigkeit wegen geschieht die Cultur meist durch Büschel oder Ballen. Hierbei ist zunächst dafür zu sorgen, daß die Büschel von einer Stelle

entnommen werden, deren Boden demjenigen der Pflanzstelle ungefähr entspricht und wo der vorhandene Binsenbestand recht dicht und fest ist. Sie werden dann wie die Rohrballen 25 bis 30 cm groß gestochen und kurze Zeit vor dem Einpflanzen mit einem scharfen Spaten in kleinere Theile zerlegt, sodafs je nach dem Zusammenhalten in jedem Ballen 5 bis 10 Halme verbleiben.

Das Pflanzen der Binse bietet gegenüber dem Pflanzen des Rohres viel Erleichterungen. Zunächst kann es während des ganzen Sommers von Mitte Mai bis Ende October geschehen, während das Pflanzen des Rohres Mitte oder Ende Juni schon aufhören muß. Sodann sind auch nicht zwei Arbeiter für jeden Ballen erforderlich, sondern ein einziger genügt. Derselbe stößt einen kiefernen Pflanzspaten einige Centimeter tief in den Boden und stellt dicht vor denselben eine Ballenpflanze. Diese wird mit den Zehen des Fusses festgehalten, der Spaten darauf mit beiden Händen am Quergriff gefaßt, hin und her bewegt und kräftig nach unten gedrückt. Gleichzeitig wird der Ballen mit den Zehen nachgestoßen. Dadurch sinkt letzterer ziemlich schnell ungefähr 10 bis 15 cm tief in den aufgelockerten Boden hinein, die Pflanze steht fest und bedarf keiner weiteren Sicherung. Die Entfernung der Pflanzen beträgt 0,5 bis 1 m. Die enge Stellung ist dadurch begründet, daß bei Binsen das Material wohlfeil ist, und es gewöhnlich darauf ankommt, recht schnell dichte Horste zu gewinnen. Die Tiefe, bis zu welcher die Binsen gepflanzt werden, hängt von der Körpergröße der Arbeiter ab; sie kann bis 1 m zunehmen. Gewöhnlich 5 Jahre nach der Pflanzung sind die Bestände dicht geschlossen.

Sollen die Binsen in großer Tiefe gepflanzt werden, so kann dies dadurch geschehen, daß man mit Hilfe von Draht einen genügend schweren Stein an jedem Binsenballen befestigt und die so belasteten Ballen einfach vom Nachen aus in das Wasser versenkt. Die Steine begünstigen das Ansaugen der Ballen in den Boden. In dieser Weise sind die Binsenpflanzungen in dem tiefen Wasser des Stettiner Haffs an den Einfaßmolen der Kaiserfahrt ausgeführt worden.

Wenn die Binsen als Schutzstreifen für das künftige Anlegen von Rohr dienen sollen, so empfiehlt es sich nach den Erfahrungen des Dünenmeisters Kemnitz, dieselben in Reihen mit größerem Abstände gleichlaufend mit dem Ufer zu pflanzen. Die erste Reihe wird je nach der Wassertiefe 20 bis 40 m vom Ufer entfernt angelegt, die folgende demnächst in 1,5 m Entfernung. In den Reihen selbst erhalten die Pflanzen 1 m Abstand. Ungefähr 15 Reihen sind in der Regel genügend. Je größer die Entfernung der Binsenreihen vom Ufer ist, um so sicherer ist ihr Stand.

Schilf kommt für die Uferbefestigung in folgenden Arten zur Verwendung. Am gebräuchlichsten ist *Acorus Calamus*, der gemeine Kalmus, demnächst *Iris pseudacorus*, Bastardkalmus, ferner *Typha latifolia*, das breitblättrige, und *Typha angustifolia*, das schmalblättrige Kolbenrohr. Alle diese Pflanzen leiden wenig oder gar nicht durch den Wellenschlag, sie leiden auch wenig durch das Eis, sind dauernd, verbreiten sich schnell und bilden dichte Bestände. Sie eignen sich am besten für die Uferstrecken in Höhe des Mittelwassers. Die elastischen Blätter geben leicht nach und können heftige Stürme, sogar eine gänzliche Ueberschwemmung auf längere Zeit im Sommer ertragen. Für Kalmus ist torfiger, für die übrigen Schilffarten sandiger Boden am besten geeignet.

Das Pflanzen des Schilfs geschieht durch Ballen, beim Kalmus auch durch Wurzeln. Die Kalmuswurzelstöcke werden durch dreizinkige gekrümmte Gabeln herausgehoben und mit langstieligen Sicheln geschnitten. Die Ballen werden im Mai oder Juni 25 bis 30 cm groß gestochen und von Mitte Mai bis Ende Juli gepflanzt. Hierbei ist zu beachten, daß der Boden der Pflanzstätte dem Boden des früheren Standortes möglichst entspreche. Das Schilf wird mit 0,5 m Abstand in Reihen von 0,5 m Entfernung gesetzt. Die Löcher werden so tief hergestellt, daß die Wurzelballen 10 cm hoch bedeckt werden können. Letztere müssen gut verscharrt und festgetreten werden. Ist eine weitere Befestigung nötig, so empfiehlt sich die Ueberdeckung der Schilfpflanzen mit Ziegelbrocken in 10 cm Höhe, nachdem die Pflanzen vorher ungefähr 15 cm hoch über der Wurzel abgeschnitten worden waren. Derartige Pflanzungen haben sich am Großen Friedrichsgraben gegen den Wellenschlag durch Dampfer gut bewährt. Die Tiefe, bis zu welcher das Schilf gepflanzt wird, reicht bis 0,3 m unter den gewöhnlichen Sommerwasserstand, die Höhe bis 0,3 m über denselben.

Eine gute Entwicklung der Rohr-, Binsen- und Schilfpflanzungen ist nur dann möglich, wenn die jungen Pflanzungen Schutz gegen Wellenschlag, Seegang und Winde erhalten. Die Schutzanlagen können bestehen:

- a) in großen Steinen auf dem nassen Strande oder vorspringenden Ecken des Ufergeländes;
- b) in hölzernen oder steinernen Buhnen;
- c) für Rohrpfanzungen auch in vorhandenen oder besonders angelegten Binsenhorsten.

Zu a. Hinter vorspringenden Ecken und Steinriffen lassen sich an der dem Winde abgekehrten Seite Binsen-, Rohr- und Schilfpflanzungen sicher anlegen. Auch die zahlreichen erratischen Blöcke, welche an den Küsten des Frischen und Kurischen Haffs als Reste des ausgewaschenen Ufergeländes sich befinden, sind von Nutzen. Ihre Beseitigung wird durch polizeiliche Verordnungen mit Recht verhindert.

Zu b. Wo vorspringende Ecken fehlen, werden durch Buhnen geschützte Buchten künstlich hergestellt. Die Buhnen werden senkrecht gegen das Ufer auf dem nassen Strande erbaut. Sie haben nur den Zweck, diesen zu erhalten und damit den Rohrpfanzungen Schutz bis zum vollen Anwachsen zu geben. Es ist daher weder nötig noch nützlich, die Kronen der Buhnen höher zu führen als bis zur Mittelwasserhöhe. Bei zu hoher Lage sind die Buhnen dem Eisschub ausgesetzt, die hölzernen Pfähle werden mit dem Eise aus dem Boden gehoben oder von den Schollen durchsägt.

Die Buhnen erhalten an den Ufern des Frischen und Kurischen Haffs gewöhnlich 30 bis 60 m Länge und eine Entfernung, welche der eineinhalb- bis zweifachen Buhnenlänge entspricht. Bei größerer Entfernung haben die Buhnen zu geringe Wirkung. Es ist sogar besser, die Entfernung nur gleich der Buhnenlänge selbst zu nehmen, doch unterbleibt dies der hohen Kosten wegen. Die Wahl sehr langer Buhnen mit entsprechender Entfernung, welche bei flachem breiten Strande mit vorgelagerten Sandbänken mitunter vorteilhaft erscheint, darf nicht empfohlen werden: zwischen den Buhnenwurzeln wird das Ufer immer in Bogenform angegriffen. Je größer die Entfernung der Buhnen ist, um so größer wird die Pfeilhöhe dieses Bogens und damit die Tiefe der sägeförmigen Angriffe des Ufers. Buhnen, welche bei Neutief an der Frischen Nehrung mit 120 m Länge und

240 m Entfernung angelegt sind, zeigen Uferabbrüche von 30 m Pfeilhöhe.

Die Buhnen werden entweder aus einer einfachen Reihe von 20 bis 25 cm starken Pfählen hergestellt, welche in dichter Folge lothrecht eingerammt werden, oder aus einer doppelten Reihe von Pfählen mit Faschinen- und Steinfüllung nach dem Querschnitt Abb. 3. Derartige Buhnen sind widerstandsfähiger gegen den Eisschub, nur wenig theurer als die einfachen Pfahlreihen und darum diesen vorzuziehen. Die Pfähle werden mindestens doppelt so tief gerammt, als sie frei stehen, erhalten die Neigung  $1:1/4$  und in den Reihen 0,20 bis 0,25 m Zwischenraum. Die Faschinen werden kreuzweise schräg zwischen den Pfählen, sodafs die Wurzel- und Zopf-Enden durch die Pfahlücken reichen, oder auch in Quer- oder Längsreihen möglichst dicht verpackt. Sie haben den Zweck, das Versinken der Steinfüllung zu verhindern. Die Steine werden gut verlegt, und besonders große Steine in die Pfahlücken keilförmig eingepafst.

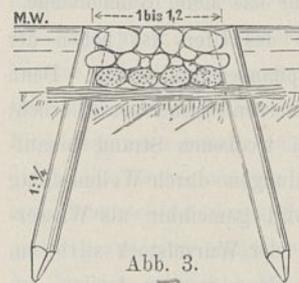


Abb. 3.

Nach Herstellung der Buhnen muß die Anlage der lebenden Pflanzen als Hauptsache betrieben werden. Haben sich breite und dichte Horste gebildet und werden diese gut gepflegt, so sind die Buhnen entbehrlich. Dies beweisen die dichten Rohrbestände bei Schwarzort und an anderen Orten.

Zu c. Der Umstand, daß die biegsame Binse Sturm und Wellenschlag gut erträgt, auch durch das Eis nicht leidet, hat dazu geführt, ohne Buhnen nur unter dem Schutz von Binsenanlagen Rohrculturen herzustellen. Es ist auf diese Weise gelungen, ohne kostspielige Kunstbauten üppige Rohrculturen an Stellen zu erzielen, wo die Pflanzung des Rohres allein jahrelang vergeblich versucht worden war. Bei der Pflanzung der Binse wird auf die künftige Anlage des Rohres Rücksicht genommen. Die Binsenreihen werden gleichlaufend mit dem Ufer in 2 bis 3 m Entfernung von einander hergestellt. Im zweiten, spätestens im dritten Jahre sind sie genügend angewachsen, um ausreichenden Schutz für die demnächst folgende Rohrpfanzung zu liefern. Diese kann sehr sparsam ausgeführt werden. Nur drei Reihen Rohrballenpflanzen sind nach den Erfahrungen von Kemnitz nötig, um die künftige Ausbreitung des Rohres zu dichten Beständen zu sichern. Die erste Reihe wird vor der ersten Binsenreihe an der dem Ufer zugekehrten Seite angelegt, die zweite und dritte Reihe zwischen den darauf folgenden Binsenreihen. Die Pflanzung des Rohres innerhalb der Reihen kann sehr weit sein. Ist das Rohr erst einmal angewachsen, so wuchert es unter dem Schutz der Binse bald so kräftig, daß es die Binsenpflanzung selbst verdrängt. Dies beruht in der Wurzelentwicklung des Rohres. Die kräftigen Ausläufer des Rohres durchdringen die aus den Faserwurzeln der Binse gebildete filzartige Decke und nehmen diesen die Lebensfähigkeit. Nur im tiefen Wasser, wo das Rohr nicht im gleichen Maße gedeihen kann, behalten die Binsen ihr Vorrecht. Das Verfahren ist sehr zu empfehlen. Es führt sicher zum Ziel und ist sehr wohlfeil durch das Fehlen der Buhnen und die sparsame Verwendung der Rohrpfanzungen.

Die Kosten der Binsen-, Rohr- und Schilfpflanzungen betragen ungefähr 1 bis 2  $\mathcal{M}$  für 100 Ballenpflanzen je nach dem Tagelohn der Arbeiter. Bei Juwendt am Kurischen Haff

kostet die von den Ortseinwohnern selbst ausgeführte 13 m breite Rohrpfanzung 1 *M* für das Meter Uferlänge. Dies entspricht einem Preise von 770 *M* für das Hektar. Bei den fiscalischen Anlagen im Frischen Haff kommt ein Hektar Binsenpfanzung gewöhnlich auf 300 *M*, ein Hektar Rohrpfanzung auf 600 *M* zu stehen, sofern die Pflanzen in der Nähe zu haben sind. Müssen die Pflanzen aus größerer Ferne bezogen werden, so erhöhen sich die Kosten um die Ausgaben für die Beförderung. Die Kosten der Buhnen betragen durchschnittlich bei einreihigen Pfählen 18 *M*, bei zweireihigen Pfählen mit Faschinen und Steinfüllung 24 *M* für das Meter Buhnenlänge.

Der Anbau von Weiden längs des Ufers ist neben der Pflege von Binsen-, Rohr- und Schilfpflanzen nothwendig. Denn die Wasserpflanzen schützen nur den nassen Strand vor Abbruch; der Schutz muß aber auch auf den trockenen Strand hinaufreichen, um auch diesen vor Abspülungen durch Wellenschlag und Eis zu bewahren. Die Weide wird gemeinhin als Wasserpflanze angesehen. Sie ist es nicht: der Wurzelstock stirbt im Grundwasser ab, nur oberhalb des Grundwassers treiben im durchfeuchteten Boden die Stöcke zahlreiche Schößlinge. Es ist daher nicht richtig, die Weiden in das Wasser hinein zu pflanzen. Von solchen Anlagen ist kein Erfolg zu erwarten. Vielmehr muß empfohlen werden, die Grenze für das Setzen von Weiden erst in 0,3 bis 0,5 m Höhe über dem gewöhnlichen Sommerwasserstande anzunehmen. Von hier beginnend ist je nach der Steigung des Geländes ein 10 bis 20 m breiter Schutzstreifen längs des Ufers anzulegen. Bis an den Fuß der Weidenpflanzungen, also bis 0,3 m über Mittelwasser, müssen Schilf- oder Rohrpfanzungen geführt werden. Denn die Weiden allein ohne die Unterstützung von Schilf und Rohr bilden keinen Uferschutz. Sie werden durch heftige Brandungen unterwaschen, ausgespült und vom Wasser verschlungen.

Von den zahlreichen Weidenarten eignen sich der günstigen Wurzel-Entwicklung wegen für die Uferbefestigung am besten *Salix amygdalina*, *purpurea*, *viminalis* und *casica*. — *Salix amygdalina*, die Bittermandelweide, hat die stärksten Wurzeln, verlangt nahrungsreichen bündigen Boden, kommt aber auch auf Sand oder Torfboden fort. Sie ist gut geeignet für die feuchtesten Stellen des Ufers, also die tiefsten Lagen des Weidestreifens. — *Salix purpurea*, die Purpurweide, erträgt von den Weidenarten am besten jede Witterung. Sie eignet sich gut für die nassen Lagen und wächst ausgezeichnet in moorigem Boden. — *Salix viminalis*, die gewöhnliche Korbweide, ist bekannt als beste Binde- und Flechtweide. Sie eignet sich gut für sandigen und lehmigen Boden, weniger für Moor. Als Uferschutzpflanze hat sie nicht den Werth von *Salix amygdalina* oder *purpurea*. — *Salix casica* (auch *pruinosa acutifolia* genannt), die caspische Weide, ist besonders geeignet für Sandboden, vorzugsweise zwar für die trockenen Lagen desselben, doch kommt sie auch in nassem Boden, wenngleich weniger gut fort.

Die Cultur der Weide geschieht fast stets durch Stecklinge. Dieselben werden von starken Trieben genommen und 20 bis 45 cm lang geschnitten. 20 cm genügt bei schwerem Boden, 35 bis 45 cm Länge ist in moorigen und allen lockeren Bodenarten erforderlich. Nur bei Nachpflanzungen im zweiten oder dritten Jahre werden ausnahmsweise 60 bis 70 cm lange Weiden verwandt. Die Stecklinge dürfen im allgemeinen nicht zu dünn sein, da sie sonst in trockenem Frühjahr zu leicht ausdörren.

Sie müssen auch möglichst unbeschädigt sein, keine Verletzungen in der Rinde oder am Schnitt zeigen, auch dürfen sie nur im Herbst oder Frühjahr, jedenfalls vor dem 1. März geschnitten worden sein. Die geschnittenen Stecklinge sind zur Verhütung des Austrocknens nicht im Freien aufzubewahren oder trockenem Frost auszusetzen; sie sind vielmehr sofort nach dem Schnitt in Bündel von je 100 Stück zu verpacken und vollständig unter Wasser zu versenken. Dort können sie ohne Schaden bis zum Juni aufbewahrt werden.

Noch besser ist es, nicht fertig geschnittene Stecklinge zu beziehen, sondern das Holz in ganzen Ruthen kommen und die Stecklinge erst während des Pflanzens schneiden zu lassen. Es leiden dann die Pflanzen bei der Beförderung weniger, und die Stecklinge kommen frisch in den Boden. Die Ruthen werden in die Erde versenkt, dann dicht über dem Boden scharf abgeschnitten, und das übrig bleibende Stück sofort wieder versenkt, geschnitten u. s. f.

Das Pflanzen der Stecklinge geschieht von Mitte October bis Ende Mai, ausnahmsweise auch bis Juni. Der im Herbst gesetzte Steckling treibt zeitiger als der im Frühjahr gepflanzte. Das Setzen wird am besten ohne Pflanzstock mit der Hand ausgeführt: der Steckling wird mit der hohlen Hand, die durch ein nicht zu hartes Leder geschützt werden kann, lothrecht, nicht schräg, bis zu vollständiger Tiefe eingedrückt. Niemals darf mit dem Fuß nachgestoßen werden, weil sonst die Pflanze leicht verletzt wird. Das volle Einsenken in den Boden ist nöthig, um den Steckling vor Schaden durch Insecten und vor Austrocknung zu bewahren. Es ist sogar zweckmäßig, zu dem Ende den Kopf des Stecklings mit Boden in geringer Höhe zu überdecken. Ist die Bodenart leicht, so dringen die obersten Knospen bald durch die schwache Bodendecke hindurch. In schweren Bodenarten ist zu empfehlen, ein bis drei Keime aus dem Erdboden hervorragen zu lassen. Die Benutzung eines Pflanzstockes ist nur bei kiesigen oder steinigen Bodenarten erforderlich, wo der Steckling während des Pflanzens aufreißen könnte.

Die zu Nachpflanzungen in späteren Jahren verwandten kräftigen 75 cm langen Stecklinge werden bis zur halben Länge in den Boden versenkt. Würde man in solchen Fällen kurze Stecklinge verwenden und bis zur vollen Tiefe versenken, so würden die Pflanzen nicht zur Geltung kommen. Sie würden von den besser entwickelten benachbarten Weiden erdrückt werden. Derartige Nachpflanzungen sind unvermeidlich, denn bei jeder Anlage sterben einzelne Pflanzen ab. Es ist jedoch das Nachpflanzen nur in den ersten zwei oder drei Jahren geboten. Später hat es keinen Erfolg mehr, weil der Steckling in der entwickelten Anlage nur kümmerlich bleiben und verdorren würde. Dann empfiehlt es sich bei größeren Lücken kräftige Ruthen als Absenker in der Richtung der Reihen auf den Boden zu legen und hier und da mit Erde zu bedecken. Dieselben entwickeln alsdann kräftige Schüsse, durch welche die Lücken gefüllt werden.

Die Stecklinge werden an den Ufern in Reihen gepflanzt und zwar am besten in Reihen senkrecht zur Wasserlinie, weil dann die Entwässerung des Landes gut vor sich gehen kann. Die Reihen erhalten 50 cm Entfernung, die Stecklinge in den Reihen 15 bis 30 auch 40 cm.

Bei der Unterhaltung der Weiden ist auf Wellenschlag und Eis Rücksicht zu nehmen. Es empfiehlt sich, den-untersten

Theil des Weidestreifens auf drei Viertel der Breite unter kurzer Schur mit zwei- bis längstens dreijährigem Schnitt zu halten. Dann tritt eine gute Befestigung des Bodens ein. Der Schnitt wird am besten im November vor Eintritt des Winters, und zwar möglichst dicht über dem Boden ausgeführt. Der obere vierte Theil des Weidestreifens dagegen muß zu kräftigeren Stämmen von Armdicke ausgebildet werden. Derartige Stämme sind besser als die biegsamen Ruthen imstande, den Eisschub zu ertragen und das dahinter befindliche Land zu schützen. Eine grössere Dicke ist nicht zuzulassen, weil die Weiden sonst zu leicht ihre Biegsamkeit verlieren.

Für das Gelingen der Binsen-, Rohr-, Schilf- und Weidenpflanzungen ist von großer Bedeutung die Witterung nach dem Pflanzen. Wenn nur einige Wochen lang keine Stürme auftreten, sodafs die Wurzeln Zeit haben, sich festzusaugen, so ist viel gewonnen. Entscheidend sind aber die Witterungs-Verhältnisse des ersten Winters nach jeder Pflanzung. Wenn heftige Stürme starke Rollungen längs der Küste erzeugen, so werden mit dem Haßgrunde auch die Ballenpflanzen herausgerissen, die Stecklinge ausgewaschen und fortgeführt. Der hierdurch entstehende Verlust kann bis zu einem gewissen Grade verschmerzt werden, da die Pflanzen nachwachsen. Besonders das Rohr wuchert üppig. Es ist bei diesem vorgekommen, dafs im ersten Jahre nur der zehnte Theil der ursprünglich ausgeführten Pflanzung erhalten blieb: dennoch bildete sich nach 5 bis 6 Jahren ein geschlossener Kamp aus, ohne dafs erheblich nachgebessert wurde.

Dabei ist es aber nöthig, die jungen Anlagen vor Schäden durch Menschen und Thiere zu schützen. Besonders die Fischer fahren rücksichtslos mit ihren Kähnen in die Binsen- und Rohrkämpen und schleppen ihre Netze auf den bepflanzten Strand. Das Weidevieh vernichtet oft in wenigen Stunden eine Anlage, welche jahrelang mit mühevoller Fleiße gepflegt worden war. Schon der Huftritt allein stört den Zusammenhang der im leichten Boden nur locker haftenden Wurzeln. Ueberall da, wo Vieh weidet, findet man das Rohr erst in grösserer Entfernung vom Ufer. Nicht etwa deshalb, weil es dort einen besseren Stand hätte — im Gegentheil, es wächst im flachen Wasser üppiger —, sondern nur, weil das Weidevieh das tiefere Wasser scheut und daher von einer gewissen Grenze ab das Rohr unbeschädigt läßt. Zur Sicherung gegen Weidevieh sind Einfriedigungen erforderlich. Zum Schutz gegen Beschädigungen durch die Fischer müssen die Anlagen unter Schonung gestellt und entsprechend durch Tafeln bezeichnet werden. Dann ist, gestützt auf eine bezügliche Polizei-Verordnung, die Bestrafung der Frevler möglich. Eine solche Polizei-Verordnung ist z. B. für die Rohr- usw. Anlagen an den Ufern des Frischen oder Kurischen Haffs von der Königsberger Regierung bereits unterm 13. Februar 1873 erlassen worden.

Werden nach den geschilderten Vorschriften die Ufer durch lebende Pflanzen geschützt und die Binsen-, Rohr-, Schilf- und Weidenanlagen gut unterhalten, so werden die Uferabbrüche aufhören, ein zuverlässiger grüner Gürtel wird den Besitz der Menschen gegen die Gewalt der Elemente schützen.

## Die Veränderung der Geschwindigkeiten im Querschnitte eines Stromes, insbesondere bei Behinderung an der Oberfläche und bei Eisstand.

Vom Wasserbauinspector R. Jasmund in Coblenz.

(Mit zeichnerischen Darstellungen auf Blatt 36 u. 37 im Atlas.)

(Fortsetzung statt Schlufs.)

(Alle Rechte vorbehalten.)

### C. Geschwindigkeit des Wassers unter einer stehenden Eisdecke.

Ganz anders gestalten sich anscheinend die Verhältnisse, wenn es sich nicht um die Wirkung einer einzelnen Kraft, eines vereinzeltten Bewegungshindernisses, sondern um fortdauernde Wirkung einer festen Wandung, wie die Eisdecke sie bildet, handelt. Aus den Messungen, die in fließendem Wasser unter einer stehenden Eisdecke angestellt sind, erhellt ohne weiteres, dafs hier das einfache proportionale Verhältnifs nicht mehr zutrifft.

Dafs von der Eisdecke eine wesentliche Behinderung des Wasserabflusses, also eine Verzögerung der Geschwindigkeiten ausgehen muß, ist schon ohne besondere Messungen erkennbar. Die Anstauung des Wasserstandes, die sich bei Bildung einer festen Eisdecke in jedem Strome einstellt, das sogenannte „Schüttwasser“, kann nur darauf zurückgeführt werden, dafs für Abführung derselben Wassermenge bei geschlossener Röhrenform ein grösserer Querschnitt nothwendig ist als bei offenem Strome. Bekannt ist ebenso, dafs bei Eisaufbruch, besonders wenn solcher durch Eisbrechdampfer oder auf anderem Wege künstlich herbeigeführt wird, eine Senkung des Wasserspiegels eintritt. Je nach der Beschaffenheit der Eisdecke ist das Mafs der An-

stauung oder Senkung verschieden, sodafs von vornherein erwartet werden muß, dafs die Rauigkeit der Eisdecke für das Mafs der Behinderung des Abflusses, für die Gröfse der Verzögerung der Geschwindigkeit noch in höherem Grade wirksam ist bzw. zur Wirksamkeit gelangt, als solches bei der Flußsohle der Fall sein soll. Die Formeln für die mittlere Geschwindigkeit im freien Strome stimmen mit der Wirklichkeit nur schlecht überein; die Formeln für die Bewegung des Wassers in Röhren liefern bisweilen Ergebnisse, die die Wirklichkeit um das doppelte und mehr übertreffen. Untersuchungen nach dieser Richtung hin können dazu beitragen, diese Lücke allmählich zu füllen.

Wenn wir berücksichtigen, dafs die Eisdecke eine feste obere Begrenzung des fließenden Wassers in gleicher Weise bildet, wie die Sohle im übrigen Theile des Querschnitts, wenn wir ferner berücksichtigen, dafs nach den früheren Ermittlungen wahrscheinlich aus allgemeinen Gründen der Adhäsion die Geschwindigkeit auf der Flußsohle gleich Null ist und dieselben Gründe auch für die Eisdecke bestehen, da überall eine Berührung zwischen Eisdecke und Wassermasse vorausgesetzt wird, so liegt die Annahme nahe, dafs wir es bei der Einwirkung, die

die Eisdecke auf das fließende Wasser ausübt, mit denselben Grundgesetzen zu thun haben möchten, die bei Einwirkung der Flußsohle sich geltend machen.

Um zu untersuchen, ob bei stehender Eisdecke sich unmittelbar an der unteren Kante des festen Eises wirklich die Geschwindigkeit bis auf Null ermäßigt, oder ob eine gleitende Bewegung des Wassers am Eise statt hat, habe ich verschiedentlich bei glatt zugefrorener Eisdecke Beobachtungen mit einem Loth vorgenommen, das ich allmählich Millimeter für Millimeter durch ein in die Eisdecke geschlagenes Loch ins Wasser hinabsinken liefs. Fände ein Gleiten des Wassers am Eise statt, so hätte in der Unterkante der Eisdecke ein plötzlicher Ausschlag des Lothes erfolgen müssen, sobald das Loth in den Bereich der Strömung gelangte. Ich habe ein derartiges, plötzliches Ausweichen des Lothes aber bei keinem der angestellten Versuche wahrgenommen, sondern es vollzog der Abtrieb des Lothes sich immer allmählich zunehmend. Auch aus den angestellten Geschwindigkeitsmessungen vermag ich zunächst nur zu entnehmen, dafs wahrscheinlich die Geschwindigkeit an der Unterkante der Eisdecke ebenso wie an der Sohle sich Null sehr nähert. Für diese Thatsache spricht auch die physicalische Erscheinung, dafs bei starkem Froste sich an der Unterkante der Eisdecke dieselben fadenförmigen Eiskristalle strahlenförmig ansetzen, die sich an der Flußsohle bilden und von hier als Grundeis aufsteigen. Wäre unter der Eisdecke oder auf der Sohle kein ruhendes Wasser vorhanden, müfste die Eisbildung eine andere Gestalt annehmen.

Die Untersuchung wird sich im wesentlichen der Frage zuwenden müssen, wie die von der Eisdecke ausgehende Einwirkung sich auf die verschiedenen Wasserschichten überträgt, und es wird nach Auffindung dieser Wirksamkeit sich ein weiterer Rückschlufs auf die Bewegung des Wassers am Eise selbst ergeben.

Die Widerstände der Sohle übertrugen sich proportional dem Quadrat der Entfernung. Es liegt nahe, dasselbe auch bei den Widerständen der Eisdecke zu versuchen. Die Geschwindigkeitscala müfste sich dann aus zwei logarithmischen Linien zusammensetzen, die sich gegenseitig durchdringen. Es wären zwar nur eine lothrechte Achse, aber zwei wagerechte Achsen vorhanden. Die eine wagerechte Achse läge in der Flußsohle, die andere in der Unterkante der Eisdecke. Die Gleichung der Geschwindigkeitsscala würde, wenn wir die Flußsohle als Koordinatenanfang festhalten, lauten

$$y = a + b \log x + d \cdot \log (t - x),$$

worin die Größen  $a$ ,  $b$ ,  $d$  Unveränderliche,  $t$  die Wassertiefe,  $y$  die Geschwindigkeit und  $x$  die Höhe über der Flußsohle bezeichnen.

#### a) Allgemeine Ausführung der Messungen und Berechnungen.

Die Messung der Geschwindigkeiten unter der Eisdecke fand hauptsächlich im Winter 1890/91 und 1892/93 in der Nähe von Magdeburg statt, zwar nicht bei sehr grofsen Wassertiefen, da solche nicht vorhanden waren, aber dafür in eingehender Weise und unter den verschiedensten Verhältnissen. Während einzelne Messungen in Stromstrecken vorgenommen wurden, in denen sich das Eis an der Oberfläche stark über einander geschoben hatte und in den einzelnen Geschwindigkeiten sich demzufolge grofse Unregelmäßigkeiten zeigten, ist eine andere Reihe eingehender Messungen in einer Stromstrecke er-

folgt, in der der Strom nachträglich, d. h. nachdem der allgemeine Eisstand bereits eingetreten war, in längerer Ausdehnung glatt zugefroren war. Die Messungen wurden in der Weise begonnen, dafs in die Eisdecke ein Loch von 50 zu 50 cm geschlagen wurde zur Einführung der Stange und des mit elektrischer Zeichengebung ausgerüsteten Flügels. Zum Theil herrschte während der Messungen, die im übrigen in derselben Weise wie am offenen Strome ausgeführt wurden, beträchtlicher Frost, indessen versagte der Flügel auch bei einer Kälte von  $-19^{\circ}\text{C}$ . niemals. Vor dem Einsetzen ins Wasser mußte der Flügel in heifsem Wasser erwärmt werden, um die Eisbildung, die sich über Wasser sofort an demselben bildete, zu beseitigen. Bei starkem Froste mußte auch für eine dauernde Erwärmung des über Wasser ragenden Theils der Führungsstange Sorge getragen werden, da diese die Kälte der Luft leicht auf das Wasser übertrug und zur Ansammlung von Schlammes an der Oberfläche Anlaß gab. Besondere Störungen sind in den Messungen sonst nicht eingetreten. Die Messungen erfolgten zum gröfsten Theil mit einem Ottischen Flügel von 24 cm Durchmesser, zum kleineren Theil mit einem kleinen Flügel von nur 5 cm Durchmesser. Die Messungen mit dem letzteren Flügel sind für die Beurtheilung der Geschwindigkeitsabnahme in der Nähe der Sohle und nahe der Eisdecke besonders werthvoll, wenn auch die einzelnen Geschwindigkeitsbestimmungen bei dem kleinen, leicht beweglichen Flügel nicht so genau unter einander übereinstimmten wie bei dem schwereren, grofsen Flügel. Bei den Angaben des letzteren liegt es aber andererseits auf der Hand, dafs dieselben nur soweit als zuverlässig betrachtet werden können, als er noch in der ganzen Höhe seiner Schaufeln in fließendem Wasser arbeitete, seine Achse sich also mindestens noch 12 cm unter der Eisdecke befand.

Was nun das angewandte Rechnungsverfahren anlangt, so konnte die Methode der kleinsten Quadrate nicht unmittelbar angewandt werden, sobald es sich um die erweiterte Form handelte:

$$y = a + b \log (x + c) + d \cdot \log (t - x),$$

worin  $c$  und  $t$  ebenfalls rechnerisch zu ermitteln waren. Auch die Vermittlung des Taylorschen Lehrsatzes konnte nicht helfen, zumal die Rechnungen dabei außerordentlich mühevoll wurden. Ich habe daher meistens ein Näherungsverfahren eingeschlagen, indem ich zunächst unter der Annahme, dafs  $c = 0$  sei, Näherungswerthe für  $a$ ,  $b$  und  $d$  aus den Normalgleichungen herleitete:

$$\sum y = na + b \cdot \sum \log x + d \cdot \sum \log (t - x)$$

$$\sum y \log x = a \sum \log x + b \sum \log^2 x + d \sum \log x \cdot \log (t - x)$$

$$\sum y \log (t - x) = a \sum \log (t - x) + b \sum \log x \cdot \log (t - x)$$

$$+ d \cdot \sum \log^2 (t - x)$$

oder auch von drei zusammengehörigen Einzelwerthen ausging. Der Werth für  $c$  wurde dann, ebenso wie  $t$ , zeichnerisch durch Vergleich der gemessenen und näherungsweise berechneten Geschwindigkeiten ermittelt, worauf unter Einsetzung der Werthe für  $c$  und  $t$  die maßgeblichen Werthe  $a$ ,  $b$ ,  $d$  berechnet wurden.

Diese Rechnungsweise war aber bisweilen ebenfalls sehr zeitraubend. Erst nach und nach ergaben sich einzelne Gesichtspunkte, die eine Vereinfachung der Rechnung ermöglichten. Obwohl mit der Entwicklung dieser Gesichtspunkte den Schlußfolgerungen vorgegriffen wird, die zutreffenden Falles aus der ganzen Untersuchung zu ziehen sein würden, erscheint es doch zweckmäßig, einige theoretische Ergebnisse vorweg zusammen zu fassen.

**1. Lage der größten Geschwindigkeit.**

Wenn die Gleichung besteht:

$$y = a + b \log x + d \cdot \log (t - x),$$

so ergibt sich die Höhe  $x$ , über der Sohle, für welche die Geschwindigkeit  $y$  ein Maximum wird, aus der ersten Ableitung

$$\frac{dy}{dx} = \frac{bM}{x_1} - \frac{dM}{t - x_1} = 0, \text{ folglich } d:b = t - x_1 : x_1$$

oder 
$$x_1 = \frac{b}{b+d} \cdot t.$$

Die Lage der größten Geschwindigkeit über der Sohle richtet sich also nach dem Verhältnisse der Werthe  $d$  und  $b$ , d. h. nach dem Verhältnisse, in dem die Rauigkeit der Eisdecke zur Rauigkeit des Bodens steht. Ist die Rauigkeit beider Flächen gleich, also  $d = b$ , so wird

$$x_1 = \frac{t}{2},$$

d. h. die größte Geschwindigkeit läge in halber Wassertiefe. Ist  $d > b$ , wie dies bei starker Zusammenschiebung der Eisdecke und dadurch bedingten großen Unregelmäßigkeiten der Eisfläche der Fall ist, so rückt die Lage der größten Geschwindigkeit dem Boden näher; und umgekehrt, wenn  $d < b$  ist, wie dies bei glatt zugefrorener Eisdecke zu erwarten ist, liegt die größte Geschwindigkeit mehr in der Nähe der Eisdecke. In einer Anzahl von Beispielen, die nachstehend angeführt werden, ist dies letztere der Fall, so in Beispiel:

C. 2 ist  $t = 2,68$  m und  $x_1 = 1,85$  m, also  $\frac{d}{b} = 0,45,$

C. 3 „  $t = 2,18$  „ „  $x_1 = 1,48$  „ „  $\frac{d}{b} = 0,47,$

C. 4 „  $t = 2,25$  „ „  $x_1 = 1,50$  „ „  $\frac{d}{b} = 0,50,$

C. 5 „  $t = 1,81$  „ „  $x_1 = 1,15$  „ „  $\frac{d}{b} = 0,57,$

C. 7 „  $t = 1,40$  „ „  $x_1 = 0,95$  „ „  $\frac{d}{b} = 0,47.$

Für das Verhältniß  $\frac{d}{b} = 0,50$ , wie es in diesen Beispielen annähernd vorliegt, würde die Lage der größten Geschwindigkeit in  $\frac{t}{3}$  d. h. in  $\frac{1}{3}$  der Wassertiefe unter der Eisdecke liegen und die Grundform sich vereinfachen in

$$y = a + b \cdot \log (x \cdot \sqrt{t - x}).$$

In geschlossenen Röhren, wo das Material der Wandung auf allen Seiten dasselbe ist, würde die Grundform sich vereinfachen in

$$y = a + b \cdot \log (x \cdot [t - x]),$$

oder wenn der Koordinatenanfang in den Mittelpunkt der Röhren auf halbe Wassertiefe gelegt wird, in  $y = a + b \cdot \log (r^2 - x^2)$ , wenn  $r$  den Halbmesser der Röhre bezeichnet.

**2. Werth der größten Geschwindigkeit.**

Wird das Verhältniß  $\frac{d}{b} = m$  gesetzt, die Lage der größten Geschwindigkeit also  $x_1 = \frac{t}{m+1}$ , so ist der Werth der größten Geschwindigkeit

$$v_{\max} = a + b \cdot \log \left( \frac{t}{m+1} \right) + bm \log \left( t - \frac{t}{m+1} \right),$$

$$v_{\max} = a + b(m+1) \log \frac{t}{m+1} + bm \cdot \log m.$$

Für  $b = d$ , also  $m = 1$  wird

$$v_{\max} = a + b \cdot \log \left( \frac{t}{2} \right);$$

in geschlossenen Röhren vom Halbmesser  $r$  also  $v_{\max} = a + b \cdot \log r^2$ .

Für  $\frac{d}{b} = 0,5 = m$  ist

$$v_{\max} = a + \frac{3}{2} b \cdot \log t + b \cdot \log \sqrt{\frac{4}{27}},$$

$$v_{\max} = a + \frac{b}{2} \cdot \log \left( \frac{4}{27} t^3 \right).$$

**3. Größe der mittleren Geschwindigkeit.**

Die Fläche der Geschwindigkeitscala ist  $F = \int y dx$

oder, da  $y = a + b \cdot \log x + d \log (t - x)$ ,

$$F = \int_{x=0}^{x=t} a dx + b \log x \cdot dx + d \cdot \log (t - x) \cdot dx.$$

Nach Ausführung der Integration und Einsetzung der Grenzwerte wird

$$F = a \cdot t + t(bM + dM) \cdot \ln \frac{t}{e}.$$

Die Größe der mittleren Geschwindigkeit ist  $v_m = \frac{F}{t}$ ,

mithin 
$$v_m = a + (b+d) \cdot M \cdot \ln \frac{t}{e},$$

worin  $M$  den Modul der natürlichen Logarithmenordnung bedeutet:  $M = 0,43459 \dots$

Die größte Geschwindigkeit war gefunden zu

$$v_{\max} = a + bM(m+1) \cdot \ln \frac{t}{m+1} + bMm \cdot \ln m,$$

sodafs

$$v_{\max} - v_m = bM \left[ (m+1) \cdot \ln \frac{e}{m+1} + m \cdot \ln m \right].$$

Da  $v_{\max}$  und  $v_m$  sich aus den Messungen annähernd ermitteln lassen, auch der Werth  $m$  aus der Lage der größten Geschwindigkeit ungefähr angegeben werden kann, so kann  $b$  unmittelbar aus den Messungsergebnissen hergeleitet werden, da sich ergibt

$$b = \frac{v_{\max} - v_m}{M \left[ (m+1) \cdot \ln \frac{e}{m+1} + m \cdot \ln m \right]}$$

Für  $m = \frac{1}{2}$  würde  $b = \frac{v_{\max} - v_m}{0,2368},$

für  $m = 1$  würde  $b = \frac{v_{\max} - v_m}{0,2664}.$

In kreisförmigen geschlossenen Röhren würde sich die mittlere Geschwindigkeit des ganzen Querschnittes berechnen aus

$$v_m = \frac{Q}{F}, \text{ worin } Q = \int y \cdot 2\pi\varrho \cdot d\varrho$$

oder  $Q = \int_0^r [a + bM \cdot \ln (r^2 - \varrho^2)] \cdot 2\pi\varrho \cdot d\varrho$  und  $F = r^2 \cdot \pi$  ist.

Die ausgeführte Rechnung liefert

$$v_m = a + bM \cdot \ln \left( \frac{r^2}{e} \right).$$

Im freien Strome hatte in den früheren Ausführungen sich ergeben

$$v_m = a + bM \cdot \ln \frac{t}{e}.$$

Der Ausdruck für die mittlere Geschwindigkeit nimmt also eine gleichmäßige Einfachheit in allen Fällen an.

## 4. Lage der mittleren Geschwindigkeit.

Die Stelle  $\xi$  über der Sohle, an der die mittlere Geschwindigkeit herrscht, ergibt sich aus der Gleichung

$$a + b \log \xi + d \log (t - \xi) = a + (b + d) M \cdot \ln \frac{t}{e},$$

sodafs man unmittelbar erhält:

$$\xi^b \cdot (t - \xi)^d = \left(\frac{t}{e}\right)^{b+d}, \quad \text{oder da } \frac{d}{b} = m \text{ ist, wird:}$$

$$\xi \cdot (t - \xi)^m = \left(\frac{t}{e}\right)^{m+1}.$$

Die Gröfse  $\xi$  ist also nur von  $t$  und von dem Verhältnisse abhängig, das zwischen  $d$  und  $b$  besteht, von den Werthen  $d$  und  $b$  selbst aber unabhängig.

Für  $d = b$  oder  $m = 1$  wird also

$$\xi \cdot (t - \xi) = \left(\frac{t}{e}\right)^2 \quad \text{oder} \quad \xi = \frac{t}{2} \pm 0,3386 \cdot t,$$

mithin 
$$\xi = \begin{cases} 0,8386 \cdot t \\ 0,1614 \cdot t. \end{cases}$$

In geschlossenen Röhren wird  $\xi = 0,7951 \cdot r$ .

Für  $m = 0,5$ , wie es in mehreren Beispielen mit glatter Eisdecke der Fall ist, wird

$$\xi = \begin{cases} 0,9441 \cdot t \\ 0,2592 \cdot t. \end{cases}$$

Im freien Strome hatte sich früher ergeben  $\xi = 0,368 t$ .

Aus dem Umstande, dafs die Lage der mittleren Geschwindigkeit von den Coefficienten  $a$ ,  $b$  und  $d$  unabhängig ist, folgert nun die bemerkenswerthe Thatsache, dafs alle logarithmischen Linien für dieselbe mittlere Geschwindigkeit und dieselbe Wassertiefe im freien Strome sich in einem Punkte schneiden müssen, gleichviel wie grofs die Werthe  $a$  und  $b$  sich ergeben. Ebenso müssen im geschlossenen, röhrenförmigen Querschnitte sich alle Geschwindigkeitsscalen für dieselbe mittlere Geschwindigkeit, dieselbe Wassertiefe und dasselbe Verhältnifs zwischen  $d$  und  $b$  in zwei festen Punkten schneiden.

Wenn der Werth  $b$  im freien Strome vom Gefälle abhängt oder wenigstens demselben entspricht, so weist dieser Umstand darauf hin, in welcher Weise sich die „Pulsation des Wassers“ vollzieht. Es ist bekannt, dafs die Geschwindigkeit des Wassers an einem bestimmten Punkte des Querschnitts zeitlich gewissen Schwankungen unterliegt. Der Werth  $\frac{dv}{dt}$ , der die Veränderlichkeit der Geschwindigkeit  $v$  nach der Zeit  $t$  ausdrückt, ist nicht constant. Ebenso unterliegt das Gefälle des Wasserspiegels fortwährenden Schwankungen. Wenn nun der Werth  $b$  dem Gefälle entspricht, so entsteht zwischen der Veränderlichkeit der Geschwindigkeit, wie solche aus den Schwankungen des Werthes  $b$  erwächst, ein Zusammenhang mit der Veränderlichkeit des Gefalles. Da die mittlere Geschwindigkeit sich nicht wohl ändern kann, so wird ersichtlich, dafs die Veränderung der Geschwindigkeiten in der Lothrechten einmal ihren höchsten positiven Werth im Wasserspiegel und ihren negativen Werth in der Nähe der Sohle erreicht, und das andere Mal umgekehrt, den höchsten negativen Werth im Wasserspiegel und den höchsten positiven Werth nahe der Sohle annimmt. Nach der Lage der mittleren Geschwindigkeit zu nehmen diese Werthe ab; in der Höhe, wo die mittlere Geschwindigkeit herrscht, ist keine Schwankung der Geschwindigkeit nach der Zeit spürbar. Es müfste also sein:

$$v_m = a_1 + b_1 \log \frac{t}{e} = a_2 + b_2 \log \frac{t}{e},$$

$$\text{oder} \quad \frac{a_1 - a_2}{b_2 - b_1} = \log \frac{t}{e} = \text{constant},$$

$$\text{oder} \quad da = -c \cdot db.$$

Einem Anwachsen von  $a$  würde eine proportionale Vergrößerung von  $b$  entsprechen. Das Verhältnifs beider Aenderungen wäre nur von der Tiefe  $t$  abhängig. Da nun die Gröfse  $a$  auch von dem Abstände der Lothrechten vom Ufer abhängt, so übertragen die Schwankungen des Gefalles sich auch auf die Beziehungen zum Ufer und rufen quer zur Stromrichtung ähnliche Erscheinungen hervor, wie solche in der Längenrichtung sich bemerkbar machen. Alle diese Schwankungen vollziehen sich allmählich und stetig in regelmässiger Wellenform, wie man bei Beobachtung des Wasserspiegels am Ufer wahrnehmen kann. Sie werden um so gröfser sein, je gröfser die Schwankungen von  $b$  oder je gröfser das Gefälle des Stromes an sich ist.

In der Eigenthümlichkeit, dafs bei geschlossenem Stromquerschnitt sich die verschiedenen Geschwindigkeitsscalen, die möglich sind, alle in zwei Punkten schneiden müssen, die der Lage der mittleren Geschwindigkeit entsprechen, bietet sich nun für die Rechnung eine Handhabe, um in der allgemeinen Gleichung

$$y = a + b \log (x + c) + d \log (t - x)$$

den Werth  $c$  genauer zu bestimmen. An den beiden Polen mit den Höhen  $\xi_1$  und  $\xi_2$  über der Sohle herrscht dieselbe Geschwindigkeit  $v_m$ . Es ist also

$$a + b \cdot \log (\xi_1 + c) + d \cdot \log (t - \xi_1) = a + b \cdot \log (\xi_2 + c) + d \cdot \log (t - \xi_2).$$

$$\text{Daher } (\xi_1 + c)^b \cdot (t - \xi_1)^d = (\xi_2 + c)^b \cdot (t - \xi_2)^d,$$

$$\text{oder für } \frac{d}{b} = m$$

$$\text{wird} \quad c = \frac{\xi_1 (t - \xi_1)^m - \xi_2 (t - \xi_2)^m}{(t - \xi_2)^m - (t - \xi_1)^m}.$$

Da  $v_m$  sich durch Flächenermittlung bestimmen,  $\xi_1$  und  $\xi_2$  sich aus der zeichnerischen Darstellung entnehmen läfst und  $t$  gemessen ist, so läfst sich hiernach  $c$  bestimmen.

Auch für den Werth  $t$  läfst sich dann noch die Verbesserung  $\tau$  bestimmen, die etwa erforderlich sein sollte. Ausgehend von der Grundform

$$y = a + b \cdot \log (x + c) + d \cdot \log (t + \tau - x) \text{ wird}$$

$$\tau = \frac{(t - \xi_2) \cdot (\xi_2 + c)^{\frac{1}{m}} - (t - \xi_1) \cdot (\xi_1 + c)^{\frac{1}{m}}}{(\xi_1 + c)^{\frac{1}{m}} - (\xi_2 + c)^{\frac{1}{m}}}.$$

Da  $c$  im allgemeinen nur geringe Werthe annimmt, erlangt man meistens schon hinreichende Annäherung mit der vereinfachten Form

$$t + \tau = \xi_2 + \xi_1^{\frac{1}{m}} \cdot \frac{\xi_2 - \xi_1}{\xi_2^{\frac{1}{m}} - \xi_1^{\frac{1}{m}}}.$$

Für  $m = \frac{1}{2}$ , wie dies in mehreren Beispielen zutrifft, wird dann diese Formel noch weiter vereinfacht in

$$\tau = \xi_2 + \frac{\xi_1^2}{\xi_1 + \xi_2} - t.$$

Gestatten die Messungen eine sichere Bestimmung von  $\xi_1$  und  $\xi_2$ , so ist in dieser Weise eine leichte Herleitung der Höhe, in der die beiden wagerechten Achsen liegen müssen, möglich. Je nach Lage der Verhältnisse ist in den Rechnungen, deren Ergebnisse nachstehend zusammengestellt werden sollen, von der einen oder der anderen Formel Gebrauch gemacht worden.

(Schluss folgt.)