



Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000302793

9.50

xx  
854



4097768

DER BAU  
DES  
KAISER WILHELM-KANALS.

NACH AMTLICHEN QUELLEN  
UNTER MITWIRKUNG DES KÖNIGLICHEN REGIERUNGSBAUMEISTERS  
HANS W. SCHULTZ

BEARBEITET

VON

J. FÜLSCHER,

GEHEIMER BAURATH UND VORTRAGENDER RATH  
IM KÖNIGL. PREUSS. MINISTERIUM DER ÖFFENTLICHEN ARBEITEN,  
VORMALS MIT-DIRIGENT DER FÜR DEN BAU DES NORD-OSTSEE-KANALS BESTELLTEN  
KAISERLICHEN KANAL-KOMMISSION IN KIEL.

ERWEITERTER UND VERMEHRTER SONDERDRUCK AUS DER ZEITSCHRIFT FÜR BAUWESEN.

ABTHEILUNG II.

MIT 205 ABBILDUNGEN IM TEXT UND EINEM ATLAS  
ENTHALTEND 23 TAFELN IN STEINSTICH.

NACHDRUCK VERBOTEN.

*F. Nr. 21953*



BERLIN 1899.

VERLAG VON WILHELM ERNST & SOHN.

(FORM. ERNST & KORN.)

xx  
874



IV-300881

~~IV 35141~~

Akc. Nr. 1084/52

BPH-13 3761 2018

# I N H A L T

Abtheilung I.	Seite
<b>I. Geschichte des Canals</b> . . . . .	1
<b>II. Der Bauentwurf.</b>	
a) Die Canallinie . . . . .	4
b) Bodenverhältnisse . . . . .	11
c) Die Wasserstände im Canal und an den beiden Mündungen . . . . .	13
d) Der Längenschnitt der Sohle und die Normalquerschnitte des Canals . . . . .	16
e) Allgemeine Beschreibung des Canals und seiner Nebenanlagen . . . . .	19
f) Kostenanschläge . . . . .	29
g) Der Arbeitsplan . . . . .	31
<b>III. Bauausführung.</b>	
A. Grunderwerb und Nutzungsentschädigungen . . . . .	32
B. Erdarbeiten.	
a) Eintheilung und Verdingung der Arbeiten . . . . .	33
b) Ausführung der Arbeiten . . . . .	34
c) Die zur Erdförderung verwandten Baggermaschinen und Fahrzeuge.	
1. Trockenbagger . . . . .	57
2. Nafsagger . . . . .	60
3. Elevatoren . . . . .	66
4. Baggerprähme . . . . .	69
C. Befestigung der Ufer und Böschungen . . . . .	70
D. Schleusen- und Hafenanlagen.	
a) Die Schleuse nebst Vor- und Binnenhafen bei Brunsbüttel . . . . .	77
1. Der Bau der Schleuse . . . . .	77
2. Der Bau der Ufermauern am Binnen- und Vorhafen . . . . .	92
3. Der Bau der Molen . . . . .	98
b) Die Schleuse nebst Vor- und Binnenhafen in Holtenau . . . . .	102
1. Die Schleuse . . . . .	103
2. Der Bau der Ufermauern am Binnen- und Aulshafen . . . . .	113
c) Die Schleuse bei Rendsburg zwischen dem Canal und der Eider . . . . .	119
1. Die Schleuse . . . . .	120
2. Die Thore . . . . .	121
3. Die Portalbrücke am Oberhaupt der Schleuse . . . . .	124
4. Die Klappbrücke . . . . .	126
5. Die Eisenbahnbrücke über die Ober-Eider . . . . .	127
6. Der Ober- und Untercanal der Schleuse . . . . .	128
7. Die Bauausführung . . . . .	129
d) Die als Nebenanlagen des Canals hergestellten kleineren Schleusen . . . . .	133
1. Die Bürgerau-Schleuse . . . . .	133
2. Die Wilsterau-Schleuse . . . . .	134
3. Die Sperrschleuse zum Bütteler Canal . . . . .	135
e) Kleinere Hafenanlagen . . . . .	137
<b>Anhang.</b> Begleitworte zum geologischen Profil des Kaiser Wilhelm-Canals. Von Dr. H. Haas, Professor an der Königl. Universität Kiel . . . . .	139

Abtheilung II.	Seite
<b>III. Bauausführung (Fortsetzung).</b>	
E. Die Thore und sonstigen Verschlüsse sowie die Bewegungsvorrichtungen der Schleusen in Brunsbüttel und Holtenau.	
a) Die Schleusenthore nebst den Abdeckungen der Thornischen . . . . .	1
1. Die Fluththore der Schleusen in Brunsbüttel . . . . .	2
2. Die Ebbehthore der Schleusen in Brunsbüttel und Holtenau . . . . .	17
3. Die Sperrthore der Schleusen in Brunsbüttel und Holtenau . . . . .	22
4. Die Abdeckungen der Thornischen der Schleusen in Brunsbüttel und Holtenau . . . . .	28
5. Die Ausführung der Thore . . . . .	28
b) Die Schützen der Umlaufcanäle . . . . .	34
c) Die Spille . . . . .	36
d) Die Bewegungsvorrichtungen der Thore, Schützen und Spille . . . . .	38
1. Die Bewegungsvorrichtungen der Schleusen . . . . .	39
2. Die Rohrleitungen der Schleusen . . . . .	53
3. Die Heizungsanlage für die Maschinenkammern und die Verbindungsgänge der Schleusen . . . . .	56
4. Die Centralmaschinenanlagen in Brunsbüttel und Holtenau . . . . .	57
5. Die Aufstellung der Entwürfe, die Ausführung und die Kosten der Bewegungsvorrichtungen . . . . .	65
e) Die Dockthore zum Trockenlegen der Schleusen für Wiederherstellungsarbeiten . . . . .	66
F. Brücken und Fähren.	
a) Die Hochbrücke bei Grünenthal . . . . .	70
b) Die Hochbrücke bei Levensau . . . . .	82
c) Die Eisenbahn-Drehbrücken bei Osterönfeld . . . . .	92
d) Die Strafsen-Drehbrücke bei Rendsburg . . . . .	113
e) Die Eisenbahn-Drehbrücke bei Taterpfahl . . . . .	114
f) Die Prahm-Drehbrücke bei Holtenau . . . . .	117
g) Die Fähren . . . . .	121
h) Beleuchtungs-, Signal-, Fernschreib- und Fernsprechanlagen . . . . .	122
i) Nebenanlagen.	
1. Die Wasserleitung für Brunsbüttel und das Pumpwerk bei Kudensee . . . . .	130
2. Die Wasserleitung in Holtenau . . . . .	134
3. Die Werft am Saatsee . . . . .	135
4. Die Amts- und Dienstwohngebäude . . . . .	137
k) Die Schlepp-, Schleusen- und Bereisungsdampfer . . . . .	138
l) Die Unterbringung und Verpflegung der Arbeiter . . . . .	139
<b>IV. Die Baubehörde und die Unternehmer des Canalbaues</b> . . . . .	142
Schlussbemerkungen . . . . .	145



**E. Die Thore und sonstigen Verschlüsse sowie die Bewegungsvorrichtungen der Schleusen in Brunsbüttel und Holtenau.**

In diesem Abschnitt werden nacheinander behandelt werden:

- a) die Schleusenthore nebst den Abdeckungen der Thornischen,
- b) die Schützen der Umlaufcanäle,
- c) die Spille,
- d) die Bewegungsvorrichtungen der Thore, Schützen und Spille und
- e) die Dockthore, die das Trockenlegen der Schleusen für Wiederherstellungsarbeiten ermöglichen.

**a) Die Schleusenthore nebst den Abdeckungen der Thornischen.**

Wie bereits bei der allgemeinen Darstellung des Bauentwurfs für den Kaiser Wilhelm-Canal auf Seite 19 u. 20 und bei der eingehenden Beschreibung der Schleusen in Brunsbüttel und Holtenau auf Seite 77 und 105 Abtheilung I dargelegt worden ist, ist jede Schleuse mit soviel Thoren ausgerüstet, daß sowohl bei Elbe- bzw. Ostseewasserständen, die höher als der Canalwasserspiegel liegen, geschleust werden kann, als auch dann, wenn die Aufsenwasserstände niedriger sind, als der Canalwasserspiegel. Die dem ersteren Zweck dienenden Thore werden im folgenden als Fluththore bezeichnet werden, obgleich die Thore der Holtenauer Schleuse wegen des Fehlens von Ebbe und Fluth in der Ostsee diesen Namen nicht ganz mit Recht tragen. Die bei niedrigen Aufsenwasserständen zur Benutzung gelangenden Thore werden dementsprechend Ebbethore genannt werden. Außer diesen Thoren besitzt jede Schleuse noch zwei Sperrthore, von denen das eine gegen den Vorhafen, das andere gegen den Binnenhafen kehrt. Sie sind so ausgebildet, daß sie bei Strömung in den Schleusen ohne jede Gefahr geschlossen werden können und nach Zuschüttung der in ihrer Fläche befindlichen großen Oeffnungen die Strömung in den Schleusen aufheben, sodaß nunmehr die Fluth- oder Ebbethore — je nach den vorhandenen Wasserstandsverhältnissen — in ruhigem Wasser geschlossen werden können. Ist dieses geschehen, dann werden zunächst die Schützenöffnungen der Sperrthore wieder frei gemacht und darauf die Thore in ihre Nischen zurückgedreht.

Jede der beiden Schleusen in Brunsbüttel, und ebenso in Holtenau, hat somit zwei Fluththore, zwei Ebbethore und zwei Sperrthore. Da jedes Thor aus zwei Flügeln besteht, sind bei den beiden Schleusenanlagen nicht weniger als je 24 Thorflügel vorhanden. Die große Anzahl von Thorflügeln, die für den Schleusenbetrieb erforderlich war, legte die Erwägung nahe, ob nicht an Stelle der Stemthore eine andere Verschlussvorrichtung zur Ausführung zu bringen sei. Außer den Stemthoren konnten nur noch Schiebethore in Frage kommen, die den Vortheil haben, daß sie nach beiden Richtungen hin kehren können; an jedem Haupt der Schleusen würde also statt eines Fluth- und eines Ebbethores nur ein Schiebethor nothwendig gewesen sein. Auch hätten sich die Schiebethore so ausbilden lassen, daß sie bei Strömung in den Schleusen geschlossen werden konnten, und daß somit die Anordnung von Sperrthoren überflüssig wurde. Andererseits

haben sie den Nachtheil, daß sie erheblich schwerer und langsamer zu bewegen sind als Stemthore. Ihre Masse ist größer, und der Weg des Schiebethor-Schwerpunktes beträgt beim Schließen sowohl als beim Oeffnen rund 26 m. Das Stemthor dagegen ist in zwei Flügel aufgelöst, die zusammen leichter sind als das Schiebethor, und außerdem beträgt der Weg des Schwerpunktes jedes Thorflügels nur etwa 8,5 m. Dazu kommt, daß die Bewegungswiderstände sich bei den Drehtoren übersehen lassen und, wenn von der Einwirkung des Windes auf die Thorflächen abgesehen wird, jederzeit gering bleiben. Dagegen können bei dem Schiebethor die rechnermäßig ermittelten Widerstände noch aus verschiedenen Ursachen sehr erheblich und in ganz unberechenbarer Weise vergrößert werden. Außerdem kann auch die unter Umständen nicht zu vermeidende Verschlickung oder Versandung des unteren Führungsfalzes und der Thor-kammer eine sehr beträchtliche Erschwerung der Thor-bewegung herbeiführen. In ganz besonders hohem Maße können die Bewegungswiderstände bei Schiebethoren — mögen die Thore gleiten oder auf Rollen laufen — zunehmen, wenn in der Sohle des Führungsfalzes beim ersten Einlassen des Wassers in die Schleuse oder später Bewegungen auftreten, welche die Höhenlage der Unterstüzung des Schiebethores verändern. Dieser Fall wäre voraussichtlich bei den Schleusen in Brunsbüttel eingetreten, woselbst, wie bereits früher eingehend besprochen worden ist, recht erhebliche Setzungen des Schleusenmauerwerks vorgekommen sind. Endlich lassen sich die Stemthore im Nothfalle mit Sicherheit durch Menschenkräfte an Stelle der für den Betrieb vorgesehenen Maschinenkraft bewegen, während diese Möglichkeit bei Schiebethoren kaum vorliegt. Unter fernerer Berücksichtigung der Thatsache, daß Stemthore durch eine langjährige Verwendung bei Schiffahrtsschleusen jeder Größe erprobt sind und somit die Gewähr für eine sichere Wirkung und einen schnellen Betrieb bieten, während das Anwendungsgebiet der Schiebethore bisher nur klein war und somit endgültige Erfahrungen über diese Thorart nicht vorliegen, konnte der Entschluß, für die Schleusen in Brunsbüttel und Holtenau Stemthore zu wählen, nicht zweifelhaft sein.

Für die Durchbildung der Thorflügel war der Gesichtspunkt maßgebend, daß die Thore für die Schleusen in Brunsbüttel und Holtenau möglichst genau gleiche Abmessungen erhalten sollten, weil dann die Zahl der für die Auswechslung schadhafter Thore bereit zu haltenden Flügel auf das geringste Maß herabzumindern war. Bei den Ebbe- und Sperrthoren ist es gelungen, die Anordnung im einzelnen so zu treffen, daß jeder Thorflügel sowohl in Brunsbüttel wie in Holtenau verwandt werden kann, dagegen mußten für die beiden Schleusen verschiedene Fluththore beschafft werden, weil die Drempe in Brunsbüttel um 0,4 m tiefer, die Schleusen-häupter um annähernd 3 m höher als in Holtenau liegen. Als Material für die Thore wurde weiches Flußeisen gewählt, weil für dasselbe, zumal bei der ruhigen stofffreien Belastung, wie sie durch den Wasserüberdruck auf die Thore ausgeübt wird, höhere Beanspruchungen zulässig sind als bei Schweiß-

eisen. Außerdem ist die Eigenschaft des Flußeisens, in der Walzrichtung und quer zu derselben gleiche Festigkeiten zu haben, für Schleusenthore von besonderem Werth. Für die zulässigen Beanspruchungen des Flußeisens wurden zwei verschiedene Grenzen festgesetzt. Bei Wasserdrücken, die im Schleusenbetriebe vorkommen, ist jedes Glied der Thore höchstens mit 900 kg für 1 qcm beansprucht; für Wasserdruckkräfte, die nur bei den höchsten Sturmfluthen, bezw. den tiefsten Niedrigwassern auftreten, steigen die Beanspruchungen bis 1200 kg/qcm. Für die Riegel-Stehbleche der Fluththore wurden für Sonderfälle, die indessen nur dann eintreten können, wenn zu Zeiten der höchsten Sturmfluthen grobe Fehler in der Behandlung der Thore seitens der Schleusenwärter gemacht werden, Beanspruchungen bis 1600 kg/qcm zugelassen, weil angenommen wurde, daß es in solchem Falle genügen würde, wenn eine ausreichende Sicherheit gegen bleibende Formänderungen der Stehbleche vorhanden ist.

Wie bereits mitgetheilt, sind die Ebbethore und Sperrthore der beiden Schleusen vollständig gleich, die Fluththore dagegen verschieden. Diese Verschiedenheiten sind jedoch keineswegs grundsätzlicher Natur, vielmehr stimmen die Fluththore in Brunsbüttel und Holtenau in ihrer Durchbildung vollständig mit einander überein, es hat nur die größere Höhe der Brunsbütteler Thore eine Vermehrung der Riegel und damit zusammenhängend eine andere Riegelentfernung als bei den Holtenauer Thoren herbeigeführt, und der größere Wasserdruck, dem die Thore in Brunsbüttel Widerstand zu leisten haben, hat eine Verstärkung der Querschnitte nothwendig gemacht. Es erübrigt sich deshalb, beide Fluththore zu beschreiben, und es wird daher nur auf die Brunsbütteler Fluththore eingegangen werden. Im folgenden werden zunächst die Entwürfe der Thore, und zwar nach einander der Fluththore, der Ebbethore und der Sperrthore, sowie der Nischenabdeckungen beschrieben werden, dann erst wird auf die Bauausführung und die Kosten der Thore eingegangen werden.

#### 1. Die Fluththore der Schleusen in Brunsbüttel.

Hierzu die Abbildungen auf Blatt 31 und 32.

Der Drempe! der Schleusen in Brunsbüttel liegt mit seiner Oberkante auf der Höhe + 9,80, der höchste bekannte Wasserstand auf der Höhe + 25,01. In Rücksicht auf den Wellenschlag, der bei Sturmfluthen vor den Thoren auftritt, sowie die Möglichkeit, daß spätere Fluthen noch über die bisher beobachtete größte Höhe auflaufen können, ist die Thoroberkante auf + 25,50 gelegt. Die Höhe der Thore über der Drempe!oberkante ergibt sich somit zu 15,70 m. Der Mittelpunkt der Wendenische liegt 45 cm hinter der

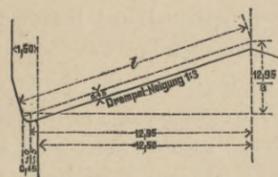


Abb. 136. Drempe! u. Wendenische der Fluththore. 1:400.

Flucht der Schleusenmauern, und der Halbmesser, nach dem die Nische ausgerundet ist, beträgt ebenfalls 45 cm. Bei 25 m Lichtweite der Schleusen und bei im Verhältniß 1:3 geneigten Drempe!n berechnet sich die Länge eines Thorflügels, gemessen in einer durch den Mittelpunkt der Wendenische gleichlaufend mit dem Drempe! gelegten Linie, nach Maßgabe der Text-Abb. 136 zu

$$l = \sqrt{12,95^2 + \left(\frac{12,95}{3}\right)^2} + 0,45 = 14,1006 \\ = \text{rund } 14,10 \text{ m.}$$

Die Länge der Thorflügel ist somit nur wenig kleiner als die Höhe. Unter solchen Verhältnissen ist es im allgemeinen zweifelhaft, ob die Bildung des Thorgerippes aus einer Schlagsäule, einer Wendensäule und einer Anzahl zwischen diesen

Säulen eingespannter Riegel zu einem geringeren Thorgewicht führt, als die Anordnung eines oberen Riegels, der als Stützpunkt für lothrechte Ständer, die sich mit ihrem unteren Ende gegen den Drempe! lehnen, dient und den gesamten Stemmdruck des Thores aufzunehmen und auf das Schleusenmauerwerk zu übertragen hat. Zu Vergleichszwecken wurde deshalb je ein Entwurf für ein sogenanntes Riegelthor und ein sogenanntes Ständerthor aufgestellt. Die Kräfte, die der obere Riegel des Ständerthores zu übertragen hatte, wurden jedoch so groß, daß sie von einem sachgemäß ausgebildeten Querschnitt nicht übernommen werden konnten. Es wurde deshalb nöthig, einen Mittelriegel einzuschalten. Dieser Riegel mußte aber der Verschwächung wegen, die das Schleusenmauerwerk dort erfährt, wo die Umlaufcanäle liegen, eine solche Höhenlage erhalten, daß die von ihm aufzunehmenden Kräfte auch noch zu groß wurden, um von ihm übertragen zu werden. Mithin hätte zur Einschaltung noch eines zweiten Zwischenriegels geschritten werden müssen. Unter diesen Umständen war auf eine Verminderung des Thorgewichtes durch die Verwendung von Ständern nicht mehr zu rechnen, und der Vortheil der Ständerthore, eine klarere Uebertragung der auf das Thor und seine Einzeltheile wirkenden Kräfte zu haben und damit eine zweckentsprechende Abmessung der Querschnitte des Thorgerippes zu erleichtern oder zu ermöglichen, kam in Fortfall. Deshalb wurde von der Anwendung von Ständern für die Fluththore, und zwar sowohl für die Schleusen in Brunsbüttel wie in Holtenau, Abstand genommen und die Thore wieder in der für Seeschleusen-Thore bisher üblichen Weise mit wagerechten Riegeln versehen. Die äußere Erscheinung der Thore zeigt nach einer photographischen Aufnahme der Holtenauer Thore die Text-Abb. 137.

Das Gerippe der Brunsbütteler Fluththore besteht aus den beiden lothrechten Säulen, der Schlagsäule und der Wendensäule, und aus neun wagerechten Riegeln. Die Mitte des untersten Riegels liegt in der Höhe + 9,77, die des obersten auf + 23,45, also 2,05 m unter der Thoroberkante. Die Gründe hierfür werden später näher erläutert werden. Die Riegelentfernung ist in der ganzen Thorhöhe gleich, sie beträgt durchweg 1,52 m und ist damit erheblich größer als bei sämtlichen bekannt gewordenen, früher ausgeführten Thoren. Die Möglichkeit, eine so große Riegelentfernung zu wählen, war dadurch gegeben, daß die Eisenwalzwerke die für die Thorhaut erforderlichen Bleche von 1,30 m Breite, 6 bis 7 m Länge und bis 16 mm Stärke dank den Fortschritten in den Walzverfahren jetzt ohne erheblichen Aufschlag gegen den Grundpreis herstellen können. Die Wahl der großen Riegelentfernung empfahl sich aus mehreren Gründen. Zunächst wird die Zahl der Riegel und damit ihr Gewicht verringert, und diese Verminderung ist so groß, daß sie die Gewichtsvermehrung, die durch die nunmehr nothwendig werdende Versteifung der Hautbleche hervorgerufen wird, nicht unbeträchtlich übersteigt. 1 qm Ansichtsfläche wiegt z. B. bei den Thoren der neuen Wilhelmshavener Seeschleuse, die noch enge Riegelstellung haben, 0,615 t, während es bei den Brunsbütteler Thoren, trotz des höheren Wasserüberdrucks, der den Berechnungen der Thore zu Grunde gelegt ist — in Wilhelmshaven 4 m, in Brunsbüttel 5,7 m — nur 0,583 t wiegt. Dann wird die Zahl der auf der Baustelle zu schlagenden Nieten und die Länge der daselbst zu dichtenden und auch später dicht zu haltenden Nähte verringert, was von großer Bedeutung ist, und endlich werden die später zu unterhaltenden wagerechten Flächen des Thor-Inneren verkleinert und die Unterhaltungsarbeiten in den größeren Räumen überdies wesentlich erleichtert. Die Höhenlage des obersten Riegels mußte so gewählt werden, daß die Ver-

ankerung der Halslager der Thorflügel den auf sie einwirkenden, unter Umständen sehr erheblichen Kräften ausreichenden Widerstand entgegensetzen kann. Im oberen Theil der Schleusenmauern sind aber die Kammern ausgespart, in denen die Motore, Transmissionen und Antriebe der Thore, der Umlaufcanal-Schützen und der Spille untergebracht sind, und deshalb sind die Schleusenmauern dort nicht so stark, da sie größere Kräfte aufnehmen können. Die Sohle dieser Kammern liegt auf der Höhe + 24,30. Dementsprechend ist die Mitte des Halszapfens und des Halslagers auf die Höhe + 23,85 und die Mitte des obersten Riegels auf + 23,45 gelegt. Die Mitte des untersten Riegels liegt auf + 9,77, es beträgt also die Entfernung zwischen dem untersten und obersten Riegel 13,68 m.

Die Grundform der Riegel ist aus der Abb. 8 auf Bl. 31 u. 32 zu ersehen, die daselbst eingeschriebenen Maße beziehen sich auf die Außenkante der das Stehblech säumenden Winkel-eisen. Im mittleren Riegeltheil laufen die Gurtungen auf 8 m Länge mit einander parallel und die Riegelhöhe beträgt hier 1,28 m. Nach den beiden Enden zu verjüngt sich die Riegelhöhe, jedoch mit der Maßgabe, daß die dem Drempe zugekehrte Gurtung bis nahe an die Schlag- und Wendesäule heran eine gerade Linie bildet. Die Drehachse der Thore liegt nicht in der Mittellinie der Riegel, sondern sie ist mehr nach dem Drempe hingerrückt. Diese Anordnung hat den Nachtheil, daß das Gewicht des Thores auf ein Verdrehen des-

selben in einer Ebene, die senkrecht zum Thore steht, hinwirkt; sie bringt aber im Verein mit einer entsprechenden Lage der Stemmeisen an der Schlag- und Wendesäule den großen Vortheil mit sich, daß der Stemmdruck ein Moment bildet, welches den durch den Wasserdruck hervorgerufenen Riegelspannungen entgegenwirkt. Der Abstand der Drehachse der Thore von dem Mittelpunkt der Wendenischen ist zu 20 mm gewählt. Oberhalb des obersten Riegels ist nur auf der dem Aufsenhafen zugekehrten Thorseite eine Blechhaut angeordnet. Diese stützt sich gegen lothrechte Consolen, die an dem obersten Riegel angebracht sind. Zwischen dem obersten und dem untersten Riegel sind die Thore auf beiden Seiten mit dichten Blechwänden bekleidet. Da das Gewicht der Thore geringer ist als das Gewicht des von ihnen verdrängten Wassers, würden sie aufschwimmen, wenn das Thor-gewicht nicht durch Ballast vergrößert wird. Als Ballast ist Wasser gewählt, das im Thor so untergebracht ist, daß bei allen Wasserständen ein möglichst gleichmäßiger Druck auf den Spurzapfen wirkt, und ebenso möglichst gleichmäßige und geringe Schubkräfte auf den Spur- und Halszapfen geäußert werden. Zu diesem Zweck ist die im folgenden erörterte Anordnung getroffen. Durch die zehn vorhandenen Riegel wird das Thor-Innere in neun Abtheilungen zerlegt. Jede dieser Abtheilungen wird nun durch einen lothrechten Schacht, der als Einsteigeschacht dient und vom obersten bis zum untersten Riegel durchgeht, wieder in zwei Theile zerlegt, sodaß außer dem Einsteigeschacht im ganzen 18 ver-

schiedene Räume im Thor-Inneren entstehen (Text-Abb. 138). Von diesen Räumen sind bei regelrechtem Betriebe die untersten vier Abtheilungen zwischen dem Einsteigeschacht und der Schlagsäule mit Luft gefüllt, und das gleiche ist mit dem Einsteigeschacht in seiner ganzen Höhe der Fall; alle übrigen Räume stehen mit dem auf der Binnenseite der Thore befindlichen Wasser durch Rohrleitungen in Verbindung und füllen und leeren sich entsprechend dem daselbst jeweilig vorhandenen Wasserstande. Die mit Luft gefüllten Kammern sind so angeordnet, daß sie unterhalb des niedrigsten Wasserstandes liegen, sie besitzen also einen stets gleichen Auftrieb, und dieser Auftrieb wirkt dem Gewicht des Thores entgegen und entlastet somit den Spurzapfen. Die Grundfläche der Luftkammern und des Einsteigeschachtes beträgt zusammen 11,87 qm, die Höhe der Luftkammer 6,09 m, der Auftrieb also  $11,87 \cdot 6,09 = \text{rund } 72,3 \text{ t}$ . Der Querschnitt des Einsteigeschachtes mißt 1,52 qm, bei dem auf + 19,27 liegenden niedrigsten Canalwasserstande wird durch den ober-

halb der Luftkammerdecke gelegenen Theil des Einsteigeschachtes noch ein Auftrieb erzeugt von

$$1,52 (19,27 - 15,85) = 5,2 \text{ t,}$$

und durch das Eintauchen der Holz- und Eisentheile des Thores wird ein weiterer Auftrieb von etwa 5 t hervorgerufen, sodaß der Thorauftrieb bei dem Wasserstande + 19,27 gegen  $72,3 + 5,2 + 5,0 = 82,5 \text{ t}$  beträgt. Das Gewicht eines Thorflügels ist nach der Gewichtsermittlung, die für die fertigen Thore

aufgestellt worden ist, ziemlich genau gleich 130 t. Es lastet somit jeder Thorflügel bei dem Wasserstande + 19,27 mit  $130 - 82,5 = 47,5 \text{ t}$  auf seinem Spurzapfen. Bei höheren Wasserständen vermindert sich der Druck, bei niedrigeren Wasserständen wächst er etwas an. Die Belastung des Spurzapfens mit 47,5 t ist reichlich groß; es wäre zweckmäßiger gewesen, wenn sie bis auf etwa 25 t herabgemindert worden wäre. Die dazu

nöthige Vergrößerung des Luftkammer-Grundrisses hätte sich durch eine Verschiebung des Einsteigeschachtes nach der Wendesäule zu leicht erreichen lassen. Die Entwurfbearbeitung der Fluththore erfolgte jedoch auf Grund einer Gewichtsberechnung, die nach Zeichnungen aufgestellt war, die im

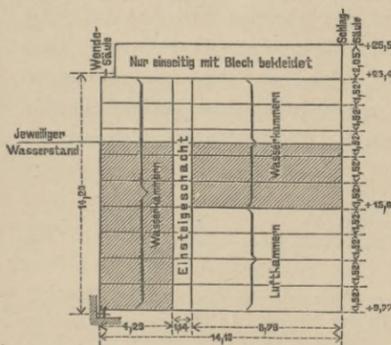


Abb. 138. Gerippe der Fluththore in Brunsbüttel. 1:400.

wesentlichen die bauliche Durchbildung der Thore und nicht die Einzelanordnungen darstellten, und diese Gewichtsberechnung hat sich erst nach der Herstellung der Thore als zu niedrig erwiesen.

Die Lage der Luftkammern ist so gewählt, daß der Hebelarm ihres Auftriebes möglichst groß wird, und des-

halb sind die Luftkammern nach der Schlagsäule zu angeordnet. Der Hebelsarm beträgt rund 8,30 m, und da der Auftrieb der Luftkammern allein

$$(11,87 - 1,52) \cdot 6,09 = \text{rund } 63 \text{ t}$$

groß ist, so ist das Moment des Auftriebes der Luftkammern gleich  $63,0 \cdot 8,3 = 523 \text{ tm}$ . Der Einsteigeschacht hat bei dem Wasserstande + 19,27, also dem niedrigsten im Kaiser Wilhelm-Canal vorkommenden Wasserstande, einen Auftrieb von etwa 14,5 t, der Hebelsarm beträgt 4,35 m und somit das Moment dieses Auftriebes  $14,5 \cdot 4,35 = \text{rund } 63 \text{ tm}$ . Die Luftkammern und der Einsteigeschacht zusammen haben also ein Auftriebsmoment von  $523 + 63 = 586 \text{ tm}$ , und dieses Moment wirkt demjenigen des Thorgewichtes entgegen. Der Schwerpunkt der Thorflügel liegt fast genau in der Mitte derselben, hat also von der Mitte des Spurzapfens einen Abstand von  $\frac{14,10}{2} = 0,45 = 6,60 \text{ m}$ . Das

Gewicht eines Thorflügels beträgt 130 t, davon sind jedoch des durch das Eintauchen von Holz- und Eisenteilen entstehenden Auftriebs wegen nur 125 t in die Berechnung einzuführen, und das Moment des Thorflügel-Gewichtes ist somit  $= 125 \cdot 6,6 = \text{rund } 825 \text{ tm}$ . Diesem Moment wirkt das Auftriebsmoment mit 586 tm entgegen, es sind also nur  $825 - 586 = 239 \text{ tm}$  von dem Hals- und dem Spurzapfen aufzunehmen. Da die Mitte des Halslagers auf der Höhe + 23,85, der Spurzapfen auf + 9,65 liegt, so haben Hals- und Spurlager wagerechten Kräften von

$$\frac{239}{23,85 - 9,65} = \text{rund } 16,8 \text{ t}$$

zu widerstehen. Da während der Bewegung der Thore niedrigere Wasserstände als + 19,27 nicht vorkommen können, so ist die eben berechnete Kraft die höchste, die während des Schleusenbetriebes auf die Fluththorzapfen wirken kann. Bei allen höheren Wasserständen werden die Kräfte noch etwas kleiner. Es ist also durch die Anordnung der Luftkammern gelungen, die auf den Spurzapfen wirkenden Kräfte sehr erheblich abzumindern, und dadurch werden nicht nur die bei der Bewegung der Thore zu überwindenden Reibungswiderstände verringert und die Bewegung der Thore erleichtert, sondern es ist auch der Abnutzung der Zapfen möglichst entgegengewirkt.

Nachdem so die allgemeine Anordnung der Fluththore besprochen ist und die dafür maßgebenden Gesichtspunkte dargelegt worden sind, soll nunmehr auf die Ausbildung der Einzeltheile dieser Thore näher eingegangen werden.

Die Riegel und die Schlag- und Wendesäule. Die Riegel haben bis auf den obersten und den untersten einen gleichen, I-förmigen Grundquerschnitt erhalten. Dieser ist aus einem Stehblech, vier das Stehblech säumenden Winkeleisen und zwei breiten Gurtplatten gebildet und in der Text-Abb. 139 dargestellt. Die beiden Gurtplatten ragen



Abb. 139.  
Querschnitt der Riegel. 1:25.

sowohl nach oben wie nach unten um 7 cm über die Winkeleisen hinaus, und an diese Flächen sind die Bleche der Aufsenhaut des Thores angeschlossen. Aufser diesen Gurtplatten haben die beiden Gurte der Riegel theilweise noch je zwei weitere Gurtplatten zur Erzielung des nöthigen Querschnitts erhalten müssen. Die Kanten dieser Platten und ebenso die der Hautbleche sind abgeschrägt worden, um das Verstemmen der Nähte zu erleichtern. Bei dem obersten und dem untersten Riegel fehlt an der dem Canal zugekehrten

Gurtung je ein Winkel, und die breite Gurtplatte hat dort nur die halbe Höhe erhalten. Bei dem obersten Riegel fehlt der obere Winkel, damit das auf den Riegel fallende Regen- und Spritzwasser ablaufen kann, ohne in das Thor-Innere eingeführt oder durch dasselbe hindurchgeführt werden zu müssen. Auf der Unterseite des untersten Riegels ist die eichene Dremel-Anschlagleiste befestigt, und deshalb ist hier der eine Gurtwinkel und die halbe Gurtplatte in Wegfall gekommen. Da die Riegelstehbleche — wie später noch eingehender erörtert werden wird — theilweise ständig, theilweise unter besonderen Umständen durch lothrecht wirkenden Wasserdruck belastet werden, sind sie mit Winkeleisen ausgesteift. Diese Winkeleisen sind bei dem untersten Riegel auf der oberen Seite des Stehbleches angeordnet, bei allen übrigen Riegeln sind sie auf der Unterseite der Stehbleche aufgenietet; sie haben eine solche Länge erhalten, daß sie zwischen die lothrechten Schenkel der Gurtwinkel der Riegel eingebaut werden konnten. Sämtliche Riegel sind mit ihren Enden in die Schlag- und Wendesäule hineingeführt. Diese Säulen haben beide genau den gleichen Querschnitt erhalten

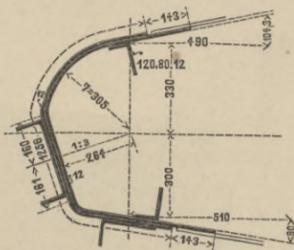


Abb. 140. Wagerechter Schnitt durch die Wendesäule. 1:25.

und bestehen aus je zwei 12 mm starken Blechen, die in der aus der Text-Abb. 140 ersichtlichen Weise gekrümmt sind. Das äußere Blech ist 1256 mm breit, das innere jedoch 1532 mm, so daß es beiderseitig um 143 mm über das äußere Blech hervorragt. An diesen Ueberstand sind die Hautbleche des Thores mit doppelreihiger Vernietung angeschlossen. Die Stehbleche der Riegel sind den auf sie einwirkenden Kräften entsprechend zwischen 9 und 16 mm stark und durch Winkeleisen versteift. Der oberste und der unterste Riegel sind zweimal, die übrigen viermal gestoßen. Die Stöße des obersten und untersten Riegels und die mittleren Stöße der Zwischenriegel liegen an derselben Stelle und zwar in der Nähe der Enden des dem Dremel parallel laufenden Theiles der äußeren Gurtung, der Stoß ist genau in der Mitte zwischen zwei Versteifungen des Riegelstehbleches angeordnet. Der mittlere Theil des Stehbleches hat infolge dessen eine Länge von 6,72 m erhalten, so daß dieses Blech bei 16 mm Stärke ein Gewicht von 1070 kg besitzt. Die Anordnung von Endstößen wurde nur bei den mittleren Riegeln nothwendig; maßgebend hierfür war der Vorgang bei der Aufstellung der Thore. Der oberste und unterste Riegel sind nämlich im Werk vollständig fertig hergestellt worden, so daß auf der Schleusenbaustelle kein einziger Niet in ihnen zu schlagen war. Mit dem unteren Riegel war zugleich je ein kurzes Stück der Wendesäule und der Schlagsäule, mit dem obersten Riegel ein kurzes Stück der Wendesäule angefertigt und im Werk fertig vernietet worden. Die Wendesäule zwischen dem Stoß oberhalb des unteren Riegels und dem Stoß unterhalb des oberen Riegels, die Schlagsäule von dem Stoß oberhalb des unteren Riegels bis zu ihrem oberen Ende, das etwa 2 m über dem obersten Riegel liegt, kamen in je zwei Theilen auf die Baustelle. Mit den Säulen waren die in ihnen liegenden Theile sämtlicher mittleren Riegel angefertigt und mit ihnen vernietet, so daß auch in den Säulen nur die Niete auf dem Bauplatz zu schlagen waren, durch welche die beiden Theile zu einem Ganzen verbunden wurden. Diese Riegel-Enden bildeten außerdem im Verein mit den in jedem Riegelfeld angeordneten zwei weiteren Versteifungen aus Kumpelblech eine vorzügliche Aussteifung der Säulen, so daß an ihnen während des Versandes keine Formänderung eintreten konnte. Die mittleren Riegel wurden in ihrer vollen

Länge von Endstofs zu Endstofs ebenfalls im Werk vollständig fertig gestellt und zwar mit sämtlichen Aussteifungen der Stehbleche, sodafs sich die gesamte während der Aufstellung der Thore zu leistende Nietarbeit auf das Vernieten der Stöße, das Befestigen der Außenhaut mit ihren Aussteifungen und das Vernieten der Querwände beschränkte. Die Endstöße der mittleren Riegel sind folgendermaßen angeordnet: Die Stofsuge des Stehbleches und der Gurtwinkel ist so gelegt, dafs sie mit den beiden Enden des inneren Bleches der Schlag- und Strebesäulen abschneidet. Die oberen Gurtwinkel sind — wie die Text-Abb. 141 zeigt — durch Stofswinkel gedeckt, die unteren Gurtwinkel hören jedoch am Stofs auf. Die obere Stofslasche des Stehbleches deckt nur die Fläche zwischen den Gurtwinkeln und ist in ihrer Breite so bemessen, dafs sie beiderseitig vom Stofs für zwei Nietreihen Platz bietet. Die untere Stofslasche hat auf der von den Säulen abgekehrten Seite des Stofses genau die Abmessungen der oberen Lasche, am Stofs verbreitert sie sich jedoch und deckt nunmehr die ganze Fläche des in den Säulen liegenden Stehblechtheiles. Als Ersatz für den unteren Riegel-Gurtwinkel ist ein Deckwinkel angeordnet. Dieser

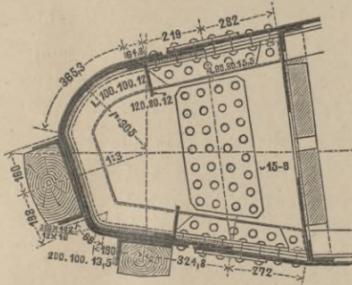


Abb. 141. Verbindung der mittleren Riegel mit der Wendesäule. 1:25.

beginnt an der einen Riegelgurtung in solcher Entfernung vor dem Stofs, dafs die erforderliche Anzahl von Anschlusnieten untergebracht werden kann, läuft dann an der Innenwand der Säulen entlang und soweit über das Winkel-Ende an der zweiten Riegelgurtung hinaus, dafs wiederum der Querschnitt des Gurtwinkels durch den Querschnitt der Anschlusniete gedeckt wird. Die Stärke der unteren Stofslasche ist genau gleich der Schenkelstärke der Gurtwinkel, der wagerechte Schenkel des Stofswinkels findet also auf ihr sein Auflager, für den lothrechten Schenkel mußte aber ein Futterstück angeordnet werden, da sonst zwischen ihm und dem inneren Blech der Säule ein Spielraum von der Breite der Schenkelstärke der Gurtwinkel entstanden wäre. Die untere Stofslasche und der untere Deckwinkel wurden, soweit zugänglich, im Werk mit dem Riegel-Ende und den Säulen vernietet; sämtliche Nieten, die durch die obere Stofslasche und die Deckwinkel der oberen Gurtwinkel hindurchgehen, mußten indessen auf der Baustelle geschlagen werden. Diese Nieten sind in die Text-Abb. 141 eingetragen, die in der Werkstatt geschlagenen Nieten sind dagegen nicht gezeichnet. Die Stöße der Gurtwinkel des obersten und untersten Riegels liegen von den Säulen etwas weiter entfernt als bei den Zwischenriegeln (Abb. 8 auf Bl. 31 u. 32), sie sind durch Stofswinkel gedeckt und gegen einander versetzt.

An dem untersten Riegel ist die Spurfanne mittels eines Lagers angebracht; um die erheblichen Druck- und Schubkräfte, die hier von der Wendesäule und dem Riegel aufgenommen werden müssen, besser übertragen zu können, ist das Stehblech durch je ein unten und oben aufgenietetes Blech verstärkt worden. Am oberen Riegel ist der Halszapfen befestigt, der einer gleichen Schubkraft wie der Spurzapfen zu widerstehen hat. Da der Angriffspunkt dieser Schubkraft etwa 40 cm über der Mitte des obersten Riegels liegt, so entsteht ein unter Umständen recht erhebliches Moment, das durch den Halszapfen auf die Wendesäule und den obersten Riegel übertragen wird. Damit das Stehblech seinen Antheil an diesem Moment mit Sicherheit übernehmen kann, ist es durch zwei obere und zwei untere Laschen von etwa 1 m

Länge versteift. Die inneren Laschen füllen den Raum zwischen den Gurtwinkeln aus, die äußeren Laschen reichen über die wagerechten Schenkel dieser Winkel hinweg. Außerdem ist unter die unterste Lasche an der Stelle, wo durch die Befestigungsschrauben des Halszapfenkörpers Zugkräfte auf das Stehblech übertragen werden, noch ein U-Eisen (N.-Profil Nr. 22) gelegt und zwar derartig, dafs es mit seinem Steg an dieser Platte anliegt und mit ihr vernietet ist. Die Enden des obersten und untersten Riegels an der Schlagsäule sind gleichartig ausgebildet; zwischen den Gurtwinkeln ist oben und unten je ein Verstärkungsblech von etwa 70 cm Länge angeordnet und außerdem wird der grössere Theil dieses oberen Bleches und die anschließenden Theile der wagerechten Schenkel des oberen Gurtwinkels durch ein drittes Verstärkungsblech überdeckt.

Die Stöße der beiden Bleche, aus denen die Schlagsäule sowohl wie die Wendesäule gebildet ist, befinden sich mit Ausnahme des obersten und untersten Stofses in Höhe der Riegelmitte und zwar sind die Stöße der beiden Bleche um eine Riegelentfernung gegen einander versetzt. Da das Gewicht und die Länge der Säulen für den Versand und die Aufstellung der Thortheile zu groß geworden wären, so wurde jede Säule in zwei Theilen zur Baustelle geliefert. Der Stofs des inneren Bleches befindet sich bei dem sechsten, der Stofs des äußeren Bleches bei dem fünften Riegel von unten, und hier liegt auch der Stofs des U-Eisens, welches die Stemmeiste in sich aufnimmt, sowie bei der Wendesäule der Stofs des Winkeleisens, an dem die Dichtungseiste befestigt ist. Aufser der wagerechten Versteifung, die durch die Riegel und durch die beiden zwischen je zwei Riegeln angeordneten Kumpelblech-Aussteifungen hervorgerufen wird, ist eine lothrechte Versteifung durch die eben erwähnten U-Eisen und durch zwei im Inneren der Säulen nahe den Enden des äußeren Bleches angeordnete, lothrecht gestellte Winkeleisen herbeigeführt, die von Gurtwinkel zu Gurtwinkel zweier benachbarter Riegel reichen, und mit den Kumpelblechen vernietet sind. Die Schlagsäule reicht um etwa 2 m über den obersten Riegel hinaus, ist aber in diesem Theil ihrer Länge genau so gebildet wie zwischen den Riegeln.

Die Thorhaut und ihre Aussteifung. Die Bleche der Thorhaut sind an die breiten Gurtplatten der Riegel mittels einer Nietreihe, an die inneren Bleche der Schlag- und Wendesäule jedoch mittels doppelreihiger Vernietung angeschlossen. In jedem Riegelfelde hat die Blechhaut auf jeder Thorseite drei Stöße erhalten, und zwar liegen die Stöße in beiden Thorseiten einander gegenüber und überdies in allen Riegelfeldern an derselben Stelle. Bei der verhältnismäßig großen Entfernung der Riegel mußten die Bleche versteift werden, wenn sie nicht ganz übermäßig stark werden sollten. Gewählt sind lothrechte Versteifungsträger aus L-Eisen, die einen Abstand von 560 mm von einander haben und an die Riegelstehbleche bzw. deren Aussteifungen angeschlossen sind. Die Anschlusbleche für die oberen Enden der Aussteifungsträger sind an die Versteifungs-Winkeleisen der Riegelstehbleche angenietet, für den Anschluß der unteren Träger-Enden sind besondere kurze Winkelstücke auf den Riegeln angebracht. Die gewählte Anordnung ist aus Abb. 1 u. 2 auf Bl. 31 u. 32 zu ersehen. Oberhalb des obersten Riegels ist nur eine Blechwand vorhanden, und zwar auf der dem Außenwasser zugekehrten Thorseite. Sie ist an die breite Gurtplatte des obersten Riegels und an das innere Blech der Schlagsäule genau in der gleichen Weise angeschlossen wie die übrigen Bleche der Thorhaut. An der Wendesäule war ein solcher Anschluß nicht möglich, weil sie dicht über dem obersten Riegel des Halslagers wegen aufhört. Hier mußte eine andere Anordnung gewählt werden. Die Blechhaut ist

auf die Innenseite der Thore verlegt und schließt an die Verlängerung des Winkels an, der die Dichtungsleiste der Wendesäule stützt. Sie bleibt, wie Abb. 7 auf Bl. 31 u. 32 zeigt, auf der Innenseite bis zu dem Punkt, wo in den übrigen Riegelfeldern die der Wendesäule nächsten Versteifungsträger der Thorhaut liegen und springt dort nach der Außenseite der Thore über. Unterstützt wird diese Blechwand durch lothrechte Kragträger aus Gitterwerk, die auf dem obersten Riegel aufgebaut sind. (Vgl. dazu Abb. 1 u. 2 auf Bl. 31 u. 32.) In der halben Höhe ist die Blechwand gestoßen und beiderseitig verlascht; dicht unterhalb der Laschen sind wagerechte Winkel angeordnet, die die Blechwand versteifen und gleiche Winkel befinden sich an ihrer Oberkante.

Die Laufstege. Die Anordnung der Laufstege und ihrer Geländer geht aus den Abb. 1 bis 3 auf Bl. 31 u. 32 hervor. Die Oberkante des Geländers liegt genau auf der Höhe des Aufsen- und Binnenhauptes der Schleusen; da infolge dessen durch stark angespannte Trossen ziemlich erhebliche Kräfte auf das an der Rückseite des geöffneten Thores liegende Gelände ausgeübt werden können, so ist hier das Handläufer-Winkelisen kräftiger gewählt als auf der Außenseite und außerdem durch ein Flacheisen verstärkt, dessen Kanten gut abgerundet sind, um darüber hingleitende Trossen möglichst wenig abzunutzen. Die Oberkante des Fußsteiges liegt auf der Höhe + 25,55, das Mauer-Ende der Schleusenhäupter auf + 26,50; zur Ueberwindung dieses Höhenunterschiedes wurde in der Nähe der Wendesäule eine Treppe mit fünf Steigungen und hölzernen Trittstufen angeordnet. Die Austrittsstufe dieser Treppe besteht aus Eisenblech, sie ist so geformt, daß sie sich bei geschlossenem Thor der Wendensische genau anschließt.

Die Dichtungs- und Stemmleisten. Die Dichtung des Thores am Drempeel und an der Wendesäule erfolgt mittels eichener Leisten, ebenso die Uebertragung der Druckkräfte von den Thoren auf das Mauerwerk der Wendensische und die Uebertragung der Kräfte zwischen den beiden Flügeln eines Thores. Die letzteren Leisten, die Stemmleisten, haben 27 cm Breite und 15 cm Stärke erhalten. Die Stemmleiste an der Wendesäule ist nach dem Halbmesser der Nische abgerundet und so angebracht, daß bei geschlossenem Thor der Mittelpunkt ihrer Cylinderfläche mit dem Mittelpunkt der Wendensische zusammenfällt. Hierdurch wird erreicht, daß die Mittelkraft der auf die Wendensische zu übertragenden Kräfte durch die Mitte der Stemmleiste und den Wendensischen-Mittelpunkt geht, sodaß die an der Wendesäule noch weiterhin angeordnete Dichtungsleiste rechnerisch keinen Druck erhält. Die Außenfläche der Stemmleiste an der Schlagsäule muß in der Schlußstellung der Thore mit der durch die Schleusenlängsachse gehenden senkrechten Ebene zusammenfallen, sie steht damit senkrecht zu der Mittelkraft der von Thorflügel zu Thorflügel zu übertragenden Kräfte. Die Lage der Stemmleisten und damit zusammenhängend die Form der Schlag- und Wendesäule sind so gewählt, daß die Mittelkraft der auf die Säulen wirkenden äußeren Kräfte bei der Wendesäule und der Schlagsäule die äußere Begrenzung der eisernen Riegel in Punkten trifft, die genau den gleichen Abstand von

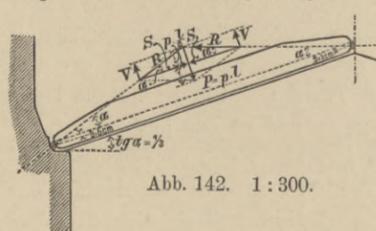


Abb. 142. 1:300.

der durch die Mitte der Wendensische gehenden Thorflügelachse haben, nämlich 9,5 cm (Text-Abb. 142). Die Mittelkraft  $R$  der äußeren Kräfte entsteht — wie bekannt — durch das Zusammenwirken zweier Kräfte, nämlich einer Kraft  $V$  senkrecht zur Thorachse und gleich der halben Größe des

auf einen Thorflügel zur Wirkung gelangenden Wasserdrucks und einer Kraft  $S$ , die parallel zur Thorachse wirkt und im folgenden stets als Stemmkraft bezeichnet werden wird. Die Stemmkraft geht bei der hier gewählten Lage der Stemmleisten nicht durch den Schwerpunkt des Riegelquerschnittes hindurch; deshalb ruft sie in Bezug auf diesen Punkt ein Biegemoment hervor, und zwar ist dieses Moment dem durch den Wasserdruck hervorgerufenen Moment entgegengesetzt, sodaß es die durch dieses hervorgerufenen Spannungen theilweise wieder aufhebt. Infolge dessen trat eine nicht unbedeutende Ersparnis an den Riegelquerschnitten ein. Die Dichtungsleisten an der Wendesäule und an dem untersten Riegel sollen einen wasserdichten Schluß zwischen dem Schleusenmauerwerk und den Thoren herstellen, dagegen ist die Uebertragung von Kräften zwischen Thor und Mauerwerk nicht ihre Aufgabe. Bei der Entwurfbearbeitung wurde versucht, die Dichtungsleisten derartig beweglich mit dem Thor zu verbinden, daß sie Kraftübertragungen nicht bewirken konnten, durch den Wasserüberdruck auf der einen Thorseite aber so fest gegen das Thor einerseits und das Mauerwerk der Drempeel bzw. der Wendensische andererseits gepreßt wurden, daß eine ausreichende Dichtung eintreten mußte. Eine Lösung dieser Aufgabe, von der erwartet werden konnte, daß sie sich unter allen Umständen als wirksam und dauerhaft erweisen werde, gelang jedoch nicht, und deshalb wurden die Leisten, wie aus Blatt 31 und 32, sowie aus der Text-Abb. 141 zu ersehen ist, mit den Thoren fest verbunden. Hierdurch wird allerdings bewirkt, daß die Kraftübertragungen in einzelnen Thortheilen und zwischen den Thoren und dem Schleusenmauerwerk nicht überall mit voller Sicherheit festgestellt werden können; da jedoch irgend welche Nachteile für die Haltbarkeit oder Betriebsicherheit der Thore bei den zahlreichen, in gleicher Weise mit festen Dichtungsleisten versehenen und seit langen Jahren in Benutzung befindlichen Schleusenthoren nicht bekannt geworden sind, so konnte es auch hier keinem Bedenken unterliegen, die altbewährte Anordnung beizubehalten.

Die Befestigungsart der Dichtungsleiste am untersten Riegel, wie sie aus der Abb. 1 u. 2 auf Bl. 31 u. 32 zu ersehen ist, ist aus den Bemühungen, die Leiste beweglich zu machen, hervorgegangen. Trotzdem davon später Abstand genommen wurde, ist doch die Lage der Leiste beibehalten worden; sie ist, wie sich in Brunsbüttel gezeigt hat, derart, daß unter Umständen Beschädigungen eintreten können, die recht schwierig auszubessern sind. Besonders in der ersten Zeit nach der Inbetriebnahme der Schleusen, als die Bauarbeiten im Canal noch in vollem Gange waren, aber auch später legten sich mehrfach treibende Hölzer und andere Gegenstände vor die Drempeel. Beim Schließen der Thore wurden dann die Dichtungsleisten abgerissen und die sie mit dem Thor verbindenden Schraubenbolzen verbogen. Da die Wiederherstellungsarbeiten zum großen Theil durch Taucher bewirkt werden mußten, so waren sie nicht nur zeitraubend und schwierig, sondern auch recht kostspielig. Deshalb kann die Befestigungsart der Dichtungsleisten am unteren Riegel nicht zur Nachahmung empfohlen werden. Besonders in solchen Schleusen, in denen zeitweilig starke Strömungen auftreten, die das Eintreiben fester Gegenstände in die Thor-kammern begünstigen, wird immer mit aller Sorgfalt Bedacht darauf zu nehmen sein, daß die Dichtungsleisten am unteren Riegel so befestigt werden, daß sie gegen Beschädigungen möglichst gesichert und in einzelnen, nicht zu großen Längen bequem auszuwechseln sind.

Die Schutzhölzer. Um die in den Nischen liegenden Thore beim Gegenfahren von Schiffen vor dem Verbiegen zu schützen, sind an den sechs oberen Riegeln Hölzer von

0,22 m Breite und solcher Stärke angebracht (Text-Abb. 143), daß ihre Außenkanten bei vorschriftsmäßiger Lage die Nischenwand berühren. Diese Schutzhölzer erstrecken sich jedoch nur über den mittleren geradlinigen Theil der Thore und haben deshalb gegen 7,30 m Länge. Eine gleiche Leiste ist am untersten Riegel angebracht, sie begrenzt die Bewegung dieses Riegels beim Aufdrehen der Thore. Die Stärke der Schutzhölzer schwankt zwischen 12 u. 14 cm.



Abb. 143. Schutzholz an den Rückseiten der Riegel. 1:25.

Der Spurzapfen und das Spurlager. Der Spurzapfen hat das Gewicht des Thorflügels auf das Schleusenmauerwerk zu übertragen und überdies der Schubkraft Widerstand zu leisten, die dadurch entsteht, daß die Mittelkraft des Thorgewichtes einen Abstand von 6,6 m von der Achse des Spur- und Halszapfens hat. Seine Beanspruchung wird am größten, wenn die Schleuse aus irgend einem Grunde von Wasser entleert worden ist und das Thor frei in ihr hängt. Dann wirkt das Gesamtgewicht des Thores, das sind 130 t, als Druck auf den Zapfen, und die Schubkraft beträgt, da Spurzapfen und Halslager eine Entfernung von 14,2 haben,

$$\frac{130 \cdot 6,6}{14,2} = 60,4 \text{ oder rund } 60 \text{ t.}$$

Für diese Kräfte ist das in den Text-Abb. 144 und 145 in einem Schnitt und in einem Grundriss des Spurzapfen-Lagerbocks dargestellte Spurlager entworfen. Die Druckvertheilung über die Grundfläche des Lagerbocks ist zeichnerisch nach dem von Mohr im Jahrgang 1883, Seite 161, der Zeitschrift des Hannoverschen Architekten- und Ingenieur-Vereins angegebenen Verfahren ermittelt worden; dabei wurde eine Druckbeanspruchung des Granits unter dem Lagerbock bis

bock des Spurzapfens ist so gestellt, daß die abgerundete Seite in der Wendenische liegt und die Symmetrieachse mit der Achse des halb geöffneten Thores zusammenfällt. Die Grundplatte des Lagerbocks ist vollständig in den aus Granit

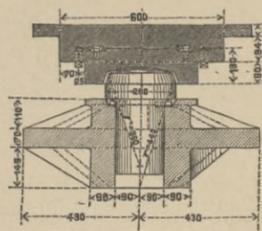


Abb. 144. Lothrechter Schnitt durch das Spurlager.

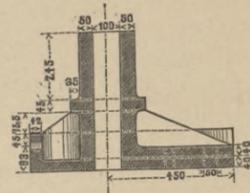
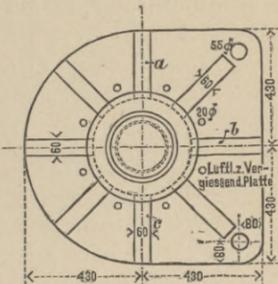


Abb. 146. Lothrechter Schnitt durch den Halszapfen.



Die Rippen a, b und c fallen auf der unteren Seite fort.

Abb. 145. Oberansicht des Lagerstuhls. 1:25.

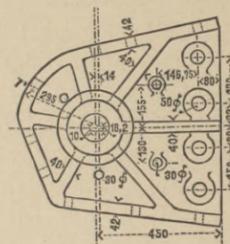


Abb. 147. Grundriss des Halszapfens. 1:25.

bestehenden Spurlagerstein eingelassen, sodafs ihre Oberfläche mit derjenigen des Steins bündig liegt. Sie hat eine Reihe von Löchern erhalten, die das Vergießen erleichtern und eine vollständige Anfüllung des Raumes zwischen Eisen und Granit mit dem zum Vergießen verwandten Cement gewähr-

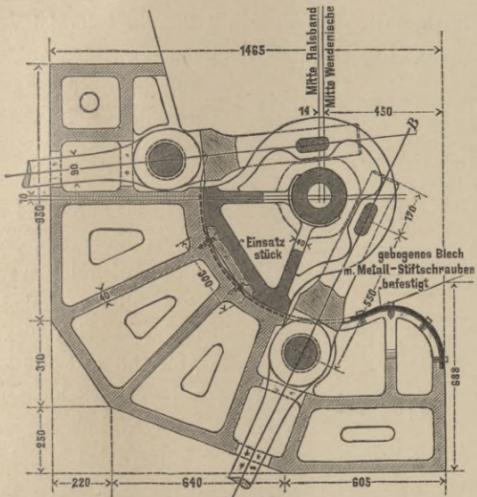


Abb. 148. Wagerechter Schnitt.

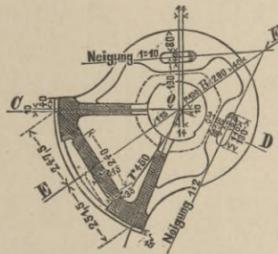


Abb. 150. Wagerechter Schnitt.

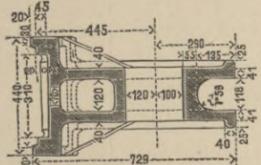


Abb. 151. Lothrechter Schnitt EF.

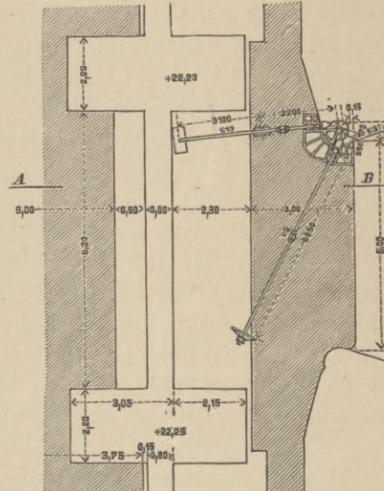


Abb. 153. Grundriss.

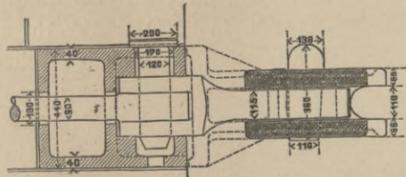


Abb. 149. Lothrechter Schnitt AB.

Abb. 148 u. 149. Halslager. 1:25.

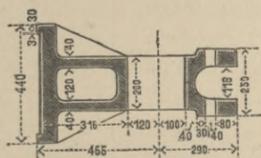


Abb. 152. Lothrechter Schnitt COD.

Abb. 150 bis 152. Halsband.

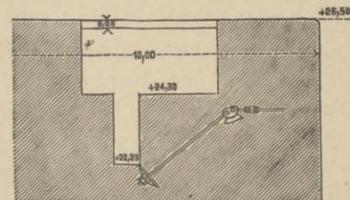


Abb. 154. Schnitt AB.

Halslager und Verankerung in einem Seitenpfeiler. 1:200.

zu 50 kg für 1 qcm zugelassen. Das Gußeisen erfährt auf der Zugseite Biegungsspannungen bis zu 580 kg für 1 qcm. Außer dem Lagerbock des Spurzapfens, der aus Gußeisen besteht, sind alle Theile aus Flußstahl von 50 bis 55 kg Festigkeit für 1 qmm und etwa 20 v. H. Dehnung hergestellt worden. Die Grundplatte der Lagerpfanne ist mit dem verstärkten Stehblech des untersten Riegels vernietet, der Lager-

leisten sollen. An der der Wendenische entgegengesetzten Seite ist die Grundplatte durch zwei Steinschrauben mit dem Schleusenmauerwerk verbunden. Diese Steinschrauben sollen die Zugkräfte aufnehmen, die dadurch entstehen, daß das Moment der Schubkraft größer ist als das Moment der lothrechten Belastung des Zapfens. Da der Unterschied beider Momente nur klein ist, so ist diese Zugkraft so gering, daß

sie durch die beiden Steinschrauben mit Sicherheit übertragen werden kann. Der Spurzapfen ist um 2 cm aus der Mitte der Wendenische heraus verlegt, um ein leichteres Öffnen des Thores zu erreichen und die Stemmleiste an der Wendensäule vor Abnutzung zu bewahren.

Der Halszapfen, das Halslager und seine Verankerung. Das Halslager besteht aus dem Halszapfen, der auf dem obersten Riegel angeordnet und mit diesem und der Wendensäule durch Schraubenbolzen verbunden ist, dem Halsband, dem Stützkörper für dieses und der Verankerung. Der in den Text-Abb. 146 und 147 dargestellte Halszapfen besteht aus einem flussstählernen Hohlzylinder von 200 mm äußerem und 100 mm innerem Durchmesser, der mit einem Bund versehen und gegen seine Grundplatte durch sechs kräftige Rippen abgesteift ist. Die Grundplatte liegt auf dem Verstärkungsblech des Riegel-Stehbleches auf, an ihrem Umfange ist sie mit einer lothrechten Rippe versehen, die durch eine Reihe von Schraubenbolzen mit den Gurtwinkeln des obersten Riegels und der Wendensäule verbunden ist. Der Widerstand des Halslagers wirkt in der Mitte des Halsbandes, während der Zug des Thores durch die Grundplatte des Halszapfens übertragen wird. Es entsteht infolge dessen ein Moment, das den Halszapfen um die hintere Kante seiner Grundplatte kippen will. Diesem Moment haben die vier, nahe der vorderen Kante der Grundplatte angeordneten und diese mit dem verstärkten und versteiften Riegelstehblech (vergl. Seite 5) verbindenden Schraubenbolzen zu widerstehen. Sie erhalten hierbei recht erhebliche Zugkräfte und sind deshalb 50 mm stark gemacht; außer ihnen sind noch vier Schraubenbolzen von 30 mm Durchmesser über die Grundplatte vertheilt angeordnet worden.

Die Anordnung des Halsbandes, seines Lagerkörpers und der Verankerung ist so erfolgt, daß im Bedarfsfalle ein leichtes Abnehmen und Wiederanbringen des Halsbandes gesichert ist, sodaß das Auswechseln eines Thorflügels gegen einen Ersatz-Flügel möglichst schnell bewirkt werden kann. Jede Verbindung des Halsbandes und des Stützkörpers durch Schraubenbolzen ist deshalb vermieden worden, da sich diese Bolzen erfahrungsmäßig schwer entfernen lassen. Die Anordnung des Halsbandes und des Stützkörpers, sowie die Verbindung des Halsbandes mit den beiden Zugankern ist in den Text-Abb. 148 bis 152 dargestellt. Der Stützkörper besteht aus Gußeisen und hat dieselbe Höhe erhalten, wie die Quadern, mit denen die Wendenische verblendet ist, nämlich 44 cm; er ist fest eingemauert und auch im Inneren, soweit die Hohlräume nicht von den beweglichen Theilen der Zuganker in Anspruch genommen werden, mit Cement ausgegossen. Das Halsband ist aus Flußstahl hergestellt. Es besteht aus dem 200 mm hohen, ringartigen eigentlichen Halsband, dem Körper, mit dem sich das Halsband gegen den gußeisernen Stützkörper legt, und den beide Theile verbindenden wagerechten Stegen. Diese Stege sind durch Wulste verstärkt und über den Halsbandring verbreitert; zwischen ihnen finden die beiden Anker Platz, die durch je einen Keil mit dem Halsband verbunden sind. Jeder der beiden wagerechten Stege ist durch zwei Rippen gegen den Anlegekörper versteift. Die Flächen, in denen eine Berührung zwischen dem Halsband und dem gußeisernen Stützkörper stattfindet, sind sämtlich auf das sorgfältigste abgedreht und behobelt. Es sind drei Paar solcher Berührungsflächen vorhanden. Das Halsband greift oben und unten mit 2 cm breiten und unter 1:5 geneigten Flächen über den Lagerkörper über, und hierdurch wird jede Hebung oder Senkung des Halsbandes verhindert. Es legt sich mit zwei senkrecht stehenden Cylinderflächen, deren Halbmesser gleich dem Halbmesser der Wendenische ist, gegen die gleich be-

arbeiteten entsprechenden Flächen des Lagerkörpers, und hierdurch wird eine genaue senkrechte Stellung der Halsbandachse gewährleistet. An einer Drehung um die Halsbandachse wird der Halsbandkörper dadurch verhindert, daß sich zwei senkrechte Flächen eines in den Stützkörper eingelassenen und mit ihm durch Stiftschrauben verbundenen Einsatzstückes mit entsprechenden Flächen des Halsbandkörpers berühren. Ueberall, wo keine Berührung zwischen Halsband und Lagerkörper stattfinden soll, ist ein genügender Spielraum zwischen den Flächen gelassen, sodaß Kraftübertragungen nur an den bearbeiteten Flächen vorkommen können.

Wenn die Stemmleiste an der Wendenische abgenutzt ist, dann wird der geschlossene Thorflügel durch den Stemmdruck soweit in die Wendenische hineingeschoben, daß die Stemmleiste wieder zum Anliegen kommt. Damit nun in solchem Falle die Möglichkeit ausgeschlossen ist, daß auf das Halsband Stemmdruck wirkt, ist die für den Durchgang des Halszapfens vorhandene Bohrung aus zwei Halbcylindern zusammengesetzt. Die vordere Hälfte dieser Bohrung, die während der Bewegung der Thore die Zugkraft aufzunehmen hat, ist nach dem Halbmesser des Halszapfens hergestellt, die hintere Hälfte hat einen 15 mm größeren Halbmesser erhalten. Zur Befestigung des Halsbandes an dem Schleusenmauerwerk sind außer dem gußeisernen Stützkörper zwei Anker angeordnet, deren Lage aus den Text-Abb. 153 und 154 ersichtlich ist. Diese Anker bestehen je aus mehreren Theilen. Die kurzen Stücke, die an das Halsband anschließen, sind durch ein Gelenk mit lothrechter Drehachse mit dem übrigen Ankertheil verbunden. Das Gelenk ist innerhalb des Gußkörpers angeordnet und ermöglicht es, daß diese Ankerstücke soweit bei Seite gedreht werden können, daß sie dem Anbringen und Abnehmen des Halsbandes keinerlei Hindernis bereiten. Die Anker gehen durch den gußeisernen Stützkörper hindurch, stehen aber mit ihm in keinerlei Verbindung, sodaß die Uebertragung von Kräften aus den Anker-

auf diesen Körper ausgeschlossen ist. Die gesamten Spannungen der Anker werden vielmehr durch die an ihrem Ende angeordneten Ankerplatten von 80 × 80 cm Anlagefläche — siehe Text-Abb. 155 und 156 — auf das Schleusenmauerwerk übertragen.

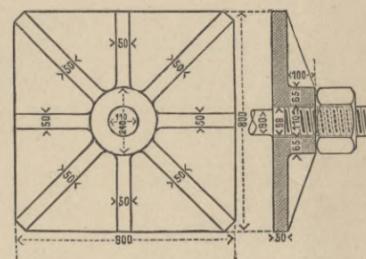


Abb. 155. Ansicht. Abb. 156. Schnitt.  
Lagerplatte der Anker des Halslagers.  
1:25.

Der längere Anker liegt wagerecht, der kürzere hat in 2,2 m Entfernung vom Halsband einen Knick, von dem an er mit der Neigung von etwa 1:1 nach unten geführt ist. Der Knickpunkt hat die in den Text-Abb. 157 u. 158 dargestellte Ausbildung erhalten; er ist angeordnet worden, damit die Lagerplatte des Ankers soviel Mauerwerk faßt, daß das Gewicht desselben hinreicht, um in einer etwaigen Bewegungsfläche soviel Reibung zu erzeugen, daß diese mit Sicherheit größer als die höchste Ankerspannung ist. Die Scherfestigkeit des Mauerwerks ist ganz unberücksichtigt geblieben, sodaß die Verankerung

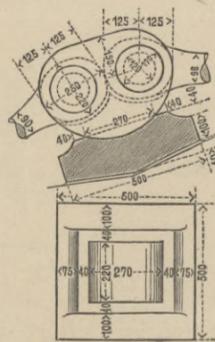


Abb. 157 u. 158.  
Knie in den Ankern.  
1:25.

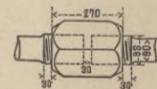


Abb. 159.  
Spannmutter.  
1:25.

ist ganz unberücksichtigt geblieben, sodaß die Verankerung

einen hohen Sicherheitsgrad besitzt. In den Anker sind Spannmutter mit Rechts- und Links-Gewinde — Text-Abb. 159 — angeordnet, die nach dem Vermauern der Lagerplatten und dem Untermauern der Stützkörper an den Knickpunkten Verlängerungen und Verkürzungen der Anker gestattet. Die Berechnung der Spannungen in den einzelnen Theilen des Halslagers läßt sich nur für den einen Belastungsfall, wenn die Thorachse durch den Schnittpunkt der Ankermittellinien geht, rechnerisch genau durchführen. Dann entstehen in beiden Anker Zugspannungen, und zwar betragen diese 34 t, während am Stützkörper keinerlei Kräfte auftreten. In allen übrigen Belastungsfällen hat jedoch auch der Stützkörper Widerstand zu leisten. Da dieser Widerstand sowohl nach Größe wie nach Lage und Richtung unbekannt ist und dazu noch die beiden zu ermittelnden Ankerspannungen kommen, so sind fünf Unbekannte vorhanden, die sich aus den zur Verfügung stehenden drei Gleichgewichtsbedingungen nicht ermitteln lassen. Infolge dessen ist die nachstehend erläuterte Annäherungsberechnung für die Abmessungen der Ankerquerschnitte maßgebend gewesen. Wenn der Thorflügel in seiner Nische liegt, so schneidet die Thorachse die Richtungslinie des kürzeren Ankers nahezu senkrecht, und das Thorgewicht kann in diesem Anker nur geringe Spannung hervorrufen. Wird diese Spannung zu Null angenommen, also der Anker als entfernt gedacht, dann sucht das Thorgewicht das Halsband um den Anschlußkeil des längeren Ankers zu drehen (Text-Abb. 160).

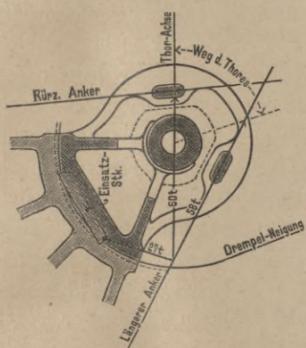


Abb. 160. Ermittlung der Spannungen in der Verankerung des Halslagers. 1:25.

Dieser Drehung leistet allein das oben erwähnte Einsatzstück Widerstand und zwar mit der bearbeiteten Fläche, die dem längeren Anker zugekehrt ist. Diese Fläche ist nur schmal, und deshalb ist es für die vorliegende Rechnung ausreichend genau, wenn angenommen wird, daß die Mittelkraft des Widerstandes durch die Mitte der Fläche geht. Nunmehr sind nur noch drei Unbekannte vorhanden, nämlich die Spannung in dem längeren Anker nach ihrer Größe und der Widerstand des Einsatzstückes gegen eine Drehung des Halsbandes nach Größe und nach Richtung. Die Ermittlung der Spannungen ist zeichnerisch erfolgt und hat bei 60 t Thorzug in dem längeren Anker eine Zugspannung von rund 58 t ergeben, während der Widerstand des Einsatzstückes etwa 27 t betragen muß. Wenn das Thor aus seiner Nische herausbewegt wird, dann werden die Spannungen in dem längeren Anker kleiner, während sie in dem kürzeren zunehmen. Ebenso nimmt der Druck auf das Einsatzstück ab. Befindet sich die Thorachse in der Halbierungslinie des Winkels, den die Ankermittellinien bilden, dann geht sie zugleich durch den Schnittpunkt dieser Linien, in beiden Anker ist die Zugkraft gleich und auf das Einsatzstück wirkt keine Kraft. Wird das Thor weiter nach dem Drempel bewegt, so nimmt die Spannung des kürzeren Ankers zu, die des längeren Ankers ab, und der von dem Einsatzstück zu leistende Widerstand wächst wieder, wird aber jetzt von der dem kürzeren Anker zugewandten Druckfläche geleistet. Liegt der Thorflügel am Drempel, so erhält der kürzere Anker seine größte Spannung, die aber kleiner ist als die des längeren Ankers, wenn der Thorflügel in die Nische gedreht ist. Die Spannung ist annäherungsweise zu 46 t berechnet. Trotzdem haben beide Anker nebst allen ihren Einzeltheilen die gleichen Ab-

messungen erhalten und zwar beträgt der Durchmesser der runden Anker 9 cm, sodafs die höchste Beanspruchung in dem längeren Anker  $\frac{58000}{9^2 \frac{\pi}{4}} = \text{rund } 910 \text{ kg für } 1 \text{ qcm}$  beträgt. Diese Beanspruchung kommt aber nur bei Instandsetzungen vor, wenn die Schleusen vollständig trocken gelegt sind; während des Schleusenbetriebes ist der Zug des Thores am Halsband, wie früher bereits besprochen, erheblich geringer als 60 t, und in gleichem Verhältnifs sinken die Beanspruchungen der Einzeltheile der Halslager.

Die Zahnstangen zur Bewegung der Thorflügel. Die Bewegung der Thorflügel geschieht mittels Zahnstangen. Bei drei Thorflügeln eines Hauptes der Doppelschleuse liegen die Zahnstangen in gleicher Höhe, die vierte Zahnstange liegt jedoch um 0,63 m tiefer. Diese Anordnung wurde nöthig, weil die Mittelmauer der Schleusen nicht so breit ist, daß zwei hinter einander liegende Zahnstangen in ihr Platz finden, und weil in Rücksicht auf die Gleichartigkeit der Bewegungsvorrichtungen der Abstand des Angriffspunktes der Zahnstangen am Thor von der Mitte des Hals- und Spurzapfens bei allen Thorflügeln derselbe sein sollte. Es blieb dann nur übrig, die Zahnstangen der Thorflügel, die von der Mittelmauer aus bewegt werden, und dementsprechend die in der Mittelmauer ausgesparten Canäle, in denen sich die Zahnstangen bewegen, über einander anzuordnen. Um jedoch jeden Thorflügel sowohl an der Mittelmauer wie an einer Seitenmauer verwenden zu können, sind alle Thorflügel so eingerichtet, daß sowohl eine hoch wie eine niedrig gelegene Zahnstange angeschlossen werden kann. Die Mitten der Zahnstangen liegen auf der Höhe + 19,97 und + 19,34, sodafs bei jeder gewöhnlichen Ebbe hinreichend Zeit vorhanden ist, um die Zahnstangen nebst ihrem Anschluß an die Thorflügel, ihrem Antrieb und ihren Laufbahnen untersuchen und Instandsetzungsarbeiten an ihnen vornehmen zu können. Die Zahnstangen sind mit Hülfe eines Drehgelenks, dessen Mitte 7,1 m vom Mittelpunkt der Wendenische entfernt ist und 0,34 m hinter der Aufsenkante der die Riegelstehbleche säumenden Gurtwinkel liegt, an die Thore angeschlossen. Da bei der Bewegung der Thore der Winkel, den die Thorachse und die Zahnstangenachse mit einander bilden, einer steten Aenderung unterliegt, so mußte der Anschluß so hergestellt werden, daß die Zahnstange sich um eine lothrechte Achse drehen kann; er erhielt außerdem eine wagerechte Drehachse, damit die kleinen Fehler in den Höhenlagen der Thore einerseits und den Zahnstangen andererseits, die sich bei den Arbeiten auf der Baustelle nicht vermeiden lassen, unschädlich gemacht wurden. Der Zahnstangen-Anschluß ist in den Text-Abb. 161 und 162 dargestellt. Die Zahnstangen laufen in Gabeln aus, deren Arme eine Bohrung für die lothrechte Drehachse haben. Das Anschlußstück hat dieselbe Bohrung, sodafs durch einen Bolzen die Verbindung zwischen der Zahnstange und dem Anschlußstück hergestellt werden kann. Es hat überdies zwei wagerechte Zapfen, deren Lager am Thor befestigt sind; sie übertragen den Druck und den Zug der Zahnstange auf das Thor und zwar infolge der gewählten Anordnung auf die beiden Riegel, die oberhalb und unterhalb des Angriffspunktes der Zahnstangen liegen, das sind der 7. und 8. Riegel von unten. Zwischen diese beiden Riegel ist ein Kasten eingebaut, der 1,09 m Länge und 0,48 m lichte Tiefe, gemessen von der Aufsenkante der Gurtwinkel bis zur Vorderseite der hinteren Wand, erhalten hat und gegen das Thor-Innere wasserdicht abgeschlossen ist. Die Anordnung dieses Kastens ist aus den Abb. 3 bis 6 auf Bl. 31 u. 32 ersichtlich, wobei die Zahnstange nebst dem Anschlußstück und dessen Lagern der Deutlichkeit halber fort-

gelassen ist. Die Seitenwände dieses Kastens bestehen aus gekümpelten Blechen von 20 mm Stärke, die Rückwand aus

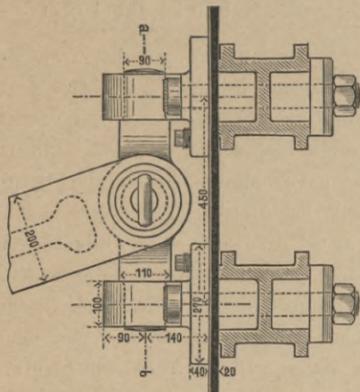


Abb. 161. Wagerechter Schnitt oberhalb der Zahnstange.

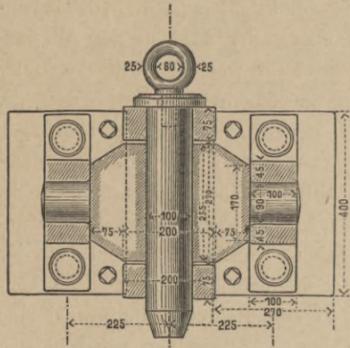


Abb. 162. Lothrechter Schnitt ab. Anschluß der Zahnstange. 1:15.

einem gleich starken ebenen Blech, das mittels Winkeleisen von  $100 \times 100 \times 12$  mm mit den beiden Riegelstehblechen, die durch 12 mm starke aufgenietete Bleche versteift sind, verbunden ist. Die Vorderwand dieses Kastens ist frei, die Hautbleche des Thores fehlen hier, und die lichte Höhe dieser Oeffnung ist noch dadurch vergrößert worden, daß von den breiten Gurtplatten der Riegel ein Streifen von je 20 mm Höhe abgearbeitet worden ist. Die Kumpelwände sind durch je zwei U-Eisen (N.-Pr. Nr. 18) versteift, die in Höhe der Zahnstangen-Angriffspunkte angebracht und mit den Wänden vernietet sind. Hinter der hinteren Kastenwand befinden sich zwei lothrechte, flußstählerne Träger, die sich mit ihrer Vorderfläche an diese Wand anlehnen und durch je zwei in der halben Höhe der Träger angeordnete Schraubenbolzen mit ihr verbunden sind. Die Lage dieser Träger zu den Riegeln ist auf ihrer Vorderseite durch die bereits erwähnten Anschlußwinkel der hinteren Kastenwand, auf der Hinterseite durch Pafsstücke, die zwischen die Träger und zwischen kleinere, auf die Riegelstehbleche genietete Haltebleche eingeschoben sind, festgelegt. Diese Pafsstücke sind mit den Riegeln ebenfalls vernietet. Beim Schließen der Thore drücken die Zahnstangen die Thorflügel nach dem Drempe! zu, beim Oeffnen ziehen sie dieselben von dem Drempe! nach der Wendensiche zu. Die größte Kraft, die von den Zahnstangen auf die Thore ausgeübt werden kann, ist durch die Einschaltung einer Reibungskupplung in die Antriebe der Zahnstangen begrenzt, sie beträgt 20 t. Wenn ein Thorflügel sich in seiner Nische befindet, dann bildet die Zahnstangenachse mit der Längsachse des Thorflügels einen rechten Winkel, je mehr sich der Thorflügel aber dem Drempe! nähert, desto spitzer wird dieser Winkel, er ist am spitzesten, wenn der Thorflügel am Drempe! liegt. In diesem Falle erreicht die Seitenkraft der Zahnstangenspannung, die mit der Thorachse gleichlaufend ist, ihren größten Werth und zwar mit etwa zwei Drittel der Zahnstangenspannung, während zugleich die Seitenkraft senkrecht zur Thorachse ihren geringsten Werth und zwar mit etwa drei Viertel der Zahnstangenspannung erreicht. Die letztere Seitenkraft schwankt also in ihrer Höhe zwischen der vollen Zahnstangenspannung und drei Viertel derselben, während die gleichlaufend mit der Thorachse wirkende Seitenkraft zwischen Null und zwei Drittel der Zahnstangenspannung schwankt. Diese Kräfte werden durch die hintere Kastenwand aufgenommen und auf die Riegel übertragen, während die senkrecht zur Thorachse wirkenden Kräfte von den flußstählernen Trägern übernommen und weiter gegeben werden. Die Anordnung dieser

Träger geht aus den Abb. 3 bis 6 auf Bl. 31 u. 32 hervor, die sehr reichlich genommenen Einzelabmessungen des Querschnitts sind aus der Text-Abb. 163 zu ersehen. Wo die Lager des Zahnstangen-Anschlusses an den Trägern befestigt werden sollen, fehlt der die beiden Wangen desselben verbindende Steg und zwar in solcher Ausdehnung, daß die Lager in jeder Richtung um 25 mm verschoben werden können. Da die hintere Kastenwand hier ebenfalls durchbrochen ist, so wäre dem Aufenwasser ein Weg in die Kammer zwischen den beiden Riegeln, die oberhalb und unterhalb des Zahnstangen-Anschlusses liegen, geöffnet. Bei gewöhnlichem Thorbetriebe wäre hiergegen nichts einzuwenden; da diese Kammer aber ebenso wie alle übrigen zur Vornahme von Instandsetzungsarbeiten soll entleert und trocken gehalten werden können, so mußten diese Oeffnungen verschlossen werden.

Dort, wo die Zahnstange angeschlossen ist, wird die Dichtung durch die Lager und die Unterlagsplatten der Befestigungsbolzen herbeigeführt, wie aus den Text-Abb. 161 und 162 ersichtlich ist, die den Anschluß der Zahnstangen an die Thore darstellen. Die Lager sind durch je zwei Schraubenbolzen mit dem Thor verbunden, und die durch die Bolzenspannung erzeugte Reibung leistet der gleichlaufend mit der Thorachse wirkenden Seitenkraft der Zahnstangenspannung ausreichenden Widerstand, sodaß eine Bewegung der Lager in dieser Richtung nicht eintreten kann. Zur Sicherheit sind jedoch die Lager mit der hinteren Kastenwand noch durch sogenannte Prisonschrauben von 35 mm Durchmesser verbunden, die auch in die flußstählernen Träger eingreifen und dadurch eine Sicherung der stets senkrechten Stellung dieser Träger bewirken. Wo Zahnstangen nicht angeschlossen sind, führen die in der Text-Abb. 164 im Querschnitt dargestellten Verschlusdeckel die erforderliche Dichtung herbei.



Abb. 163. Querschnitt der Träger für den Zahnstangen-Anschluß. 1:15.

Die Schutzketten. Um die Zahnstangen und die geschlossenen Thore vor dem Gegenfahren von Schiffen und den damit verbundenen Beschädigungen nach Möglichkeit zu schützen, sind Ketten von 25 mm Stärke angeordnet, die mit dem einen Ende in Höhe des zweiten Riegels von oben

an der Schlagsäule der Thorflügel befestigt sind, während das andere Ende mit dem Schleusenmauerwerk verbunden

an der Schlagsäule der Thorflügel befestigt sind, während das andere Ende mit dem Schleusenmauerwerk verbunden

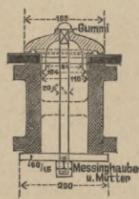


Abb. 164. Verschlusdeckel. 1:15.

Die Schutzketten. Um die Zahnstangen und die geschlossenen Thore vor dem Gegenfahren von Schiffen und den damit verbundenen Beschädigungen nach Möglichkeit zu schützen, sind Ketten von 25 mm Stärke angeordnet, die mit dem einen Ende in Höhe des zweiten Riegels von oben



Abb. 165 u. 166. Verbindung der Schutzkette mit der Schlagsäule. 1:25.

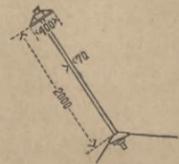


Abb. 167. Verankerung der Schutzkette im Schleusenmauerwerk. 1:100.

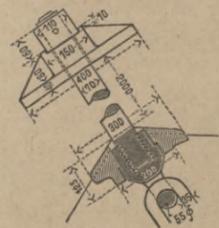


Abb. 168. Anschluß der Schutzkette an den Anker. 1:20.

an der Schlagsäule der Thorflügel befestigt sind, während das andere Ende mit dem Schleusenmauerwerk verbunden

ist. Allerdings können diese Ketten ihren Zweck nur erfüllen, wenn die auf sie wirkenden Kräfte nicht zu groß werden. Ihre Bruchfestigkeit beträgt etwa 29500 kg, und damit sind sie in der Lage, kleinere Kräfte von dem Thor und, was besonders wichtig ist, von den gegen wagrecht wirkende Kräfte wenig widerstandsfähigen Zahnstangen fernzuhalten. Die aus Gußstahl angefertigten, in den Text-Abb. 165 und 166 dargestellten Anschlußstücke sind mit dem Thor vernietet, die Kette ist mittels eines Schäckels angeschlossen. Mit dem Schleusenmauerwerk ist die Kette durch einen 2 m langen Maueranker verbunden, Text-Abb. 167, dessen Längsrichtung mit der Richtung des Kettenzuges zusammenfällt, sobald die Kette durch eine in ihrer Mitte wirkende Kraft gespannt wird. In allen übrigen Belastungsfällen werden Biegemomente an der Verbindungsstelle von Kette und Anker auftreten. Damit die aus diesen Momenten sich ergebenden, vom Mauerwerk aufzunehmenden Kräfte keine Beschädigungen desselben herbeiführen, ist am Anschluß ein Gußkörper vorgesehen, dessen Gestalt aus der Text-Abb. 168 ersichtlich ist. Die gewählte Anordnung gestattet eine leichte Trennung von Anker und Kette, die überdies noch durch die Anordnung eines Schäckels dicht am Ketten-Ende weiterhin erleichtert wird. Die Länge der Anker ist wiederum so bemessen, daß das Gewicht des zu bewegenden Mauerwerks in der Bewegungsfläche eine solche Reibung erzeugen würde, daß diese allein in stande ist, jede Bewegung zu verhindern.

Der Einsteigeschacht und die Querversteifungen der Thore. Wie die Abb. 3 u. 8 auf Bl. 31 u. 32 zeigen, wird der Einsteigeschacht durch zwei Gruppen von lothrecht über einander angeordneten Blechwänden gebildet. Jede dieser Gruppen besteht der Anzahl der Riegelfelder entsprechend aus neun Wänden, von denen jede den Zwischenraum zwischen der vorderen und der hinteren Thorhaut einerseits und zwei benachbarten Riegeln andererseits verschließt. Die Wände sind nicht, wie sonst üblich, aus ebenen Blechen gebildet und mit Winkeleisen an die Riegel und die Thorhaut angeschlossen, sondern die Bleche haben auf Vorschlag des ausführenden Eisenwerkes umgebördelte Ränder erhalten, die an Stelle der Winkeleisen treten. Durch Versuche ist festgestellt worden, daß diese gebördelten Wände Wasserdruck gegenüber den gleichen Widerstand leisten wie die mit Anschluß-Winkeleisen versehenen, dabei erfordern sie erheblich weniger Nietarbeit, haben weniger zu dichtende Nähte und sind überdies leichter. Der Einsteigeschacht ist, in der Längsrichtung der Thorflügel gemessen, 1,11 m im lichten weit, seine Lage im Thor ist so gewählt, daß die bereits früher erwähnten, auf die Verminderung der Spur- und Halszapfenbelastungen hinwirkenden Luftkammern eine angemessene Größe erhalten haben. Der Schacht wird durch die Riegel in neun Abtheilungen zerlegt, die durch große, in den Riegelstehblechen angeordnete Mannlöcher mit einander in Verbindung gesetzt sind. Eine im Schacht angebrachte eiserne Leiter erleichtert das Besteigen desselben. Da die den Schacht bildenden Wände unter Umständen denselben Wasserdruck auszuhalten haben wie die in gleicher Höhenlage befindlichen Theile der Thorhaut, so mußten sie wie diese ausgesteift werden. Der Einsteigeschacht dient dazu, die  $2 \times 9 = 18$  Abtheilungen, in welche das Innere jedes Thorflügels durch den Schacht selbst und durch die zehn Riegel getheilt ist, auch während der Benutzung des Thores zugänglich zu machen, außerdem aber führt er eine sehr kräftig wirkende Querversteifung der Thore herbei. Diesem Zweck dienen noch drei weitere Versteifungen, von denen je eine in der Nähe der Schlag- und Wendesäule und die dritte zwischen dem Einsteigeschacht

und der Schlagsäule angeordnet ist. Dieselben sind im Anschluß an die Aussteifungen der Thorhaut und der Riegelstehbleche durch Vergrößerung der Eckbleche derselben gebildet. Ihre Anordnung ist aus den Abb. 1 u. 8 auf Bl. 31 u. 32 zu sehen.

Leeren und Füllen der einzelnen Kammern des Thor-Inneren. Von dem Einsteigeschacht aus ist jede einzelne der 18 Kammern, in die das Innere der Thore getheilt ist, durch Mannlöcher zugänglich. Diese Mannlöcher sind aus den Blechen derart ausgepreßt, daß die umgebördelten Ränder zugleich für die nöthige Versteifung der Bleche sorgen. Die Deckel der Mannlöcher sind aus Schmiedeeisen hergestellt und zur Dichtung mit einem Gummiring

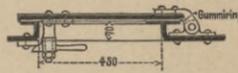


Abb. 169. Wagerechter Schnitt.

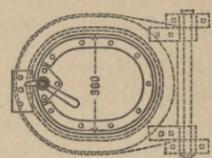


Abb. 170. Ansicht vom Einsteigeschacht aus.  
Mannloch-Verschluss.  
1:25.

versehen, sie lassen sich um Gelenke mit senkrechter Achse drehen und vermittelst eines einarmigen Vorreibers auf ihren Sitz pressen. (Text-Abb. 169 u. 170.) Sobald eine Kammer mit Wasser gefüllt ist, preßt der Wasserdruck den Deckel auf seinen Sitz und wirkt somit auf Abdichtung desselben. Bei gewöhnlichem Thorbetriebe sind sämtliche Mannlöcher geschlossen. Bei den Wasserkammern ist dies selbstverständlich, da sonst ja der Einsteigeschacht voll Wasser laufen würde; bei den Luftkammern ist es zweckmäßig, weil sich dann bei einer Verletzung der Thorhaut nur die betreffende Kammer mit Wasser anfüllen wird, während dies bei allen vier Kammern geschehen würde, wenn die Mannlöcher offen sind. In den Wasserkammern soll — wie bereits früher erörtert — das Wasser mit dem Binnenwasserstande zugleich fallen und steigen, damit der Auftrieb des Thores und somit die auf den Spur- und Halszapfen wirkenden Kräfte möglichst beständig bleiben. Zu diesem Zweck muß eine Verbindung des Inneren der Wasserkammern mit dem Binnenwasser hergestellt werden, die jedoch zur Vornahme von Unterhaltungsarbeiten in den Kammern, bei Ausbesserung des Anstriches, sowie beim Auswechseln eines Thorflügels muß aufgehoben werden können. Damit man in eine Wasserkammer hineingelangen kann, muß das Wasser aus ihr entfernt werden können; dadurch würde jedoch der Auftrieb unter Umständen wesentlich vergrößert werden können, und um diesen Uebelstand zu vermeiden, wird man zweckmäßig eine Luftkammer ganz oder theilweise mit Wasser füllen. Also auch die Luftkammern müssen mit dem Binnenwasser in Verbindung gesetzt werden können. Diese Verbindung muß aber ebenso wie bei den Wasserkammern unterbrochen und die Kammer entleert werden können. Es ist deshalb nothwendig, daß für jede der 18 Kammern jedes Thorflügels folgende Maßnahmen getroffen werden können:

- a) die Kammer wird mit dem Binnenwasser in Verbindung gesetzt,
- b) diese Verbindung wird unterbrochen,
- c) die Kammer wird von Wasser entleert.

Durch Aufstellung eines Wasserhebers in dem Einsteigeschacht und durch Anordnung von Rohrleitungen, deren Hähne im Einsteigeschacht liegen und deshalb jederzeit zugänglich sind, ist die Erfüllung der vorstehend festgestellten Anforderungen möglich gemacht. Der Wasserheber wird mit Druckwasser betrieben, das aus dem Rohrleitungsnetz für die mit Druckwasser betriebenen Kraftmaschinen der Bewegungsvorrichtungen der Schleusen entnommen wird und eine Spannung von etwas über 50 Atmosphären besitzt. Das Druck-

wasser wird mittels eines schmiedeeisernen Rohres von 25 mm lichter Weite durch den festen Halszapfen hindurch in das Thor hineingeführt und nach dem Wasserheber geleitet, der auf dem vierten Riegel von unten aufgestellt ist. Mit dem

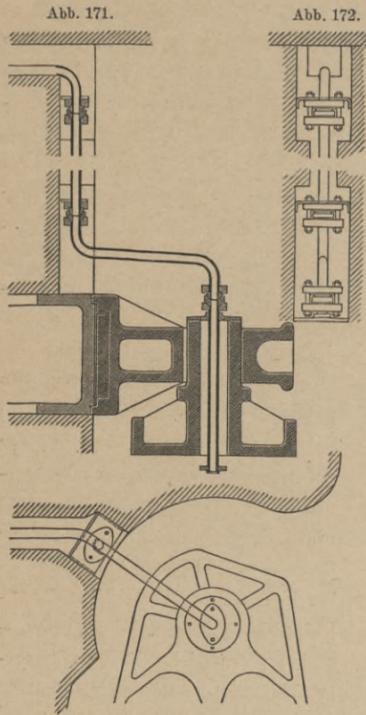


Abb. 173. Einführung des Druckwassers in die Thore. 1:25.

ist erreicht, daß beim Bewegen der Thore nur die der Reibung des Kugelgelenks entsprechenden Kräfte auf die Rohrleitung zur Aeußerung gelangen. Beim Auswechseln eines Thorflügels ist nur das kurze wagerechte Leitungstück zu entfernen, die übrigen Theile der Leitung sind durch ihre Lage so geschützt, daß sie beim Ausheben und Einsetzen eines Thorflügels kaum beschädigt werden können. Der in den Text-Abb. 174 bis 177 dargestellte Wasserheber hat eine stündliche Leistung von 15 cbm und ist somit in der Lage, eine der großen Kammern in etwas mehr als einer Stunde leer zu pumpen. Seine Saughöhe beträgt zwischen der Oberkante der Düse und der Unterkante des Saugkorbs 4,9, seine Druckhöhe 8,05 m, das Saugerohr hat einen lichten Durchmesser von 60 mm, das Druckrohr von 80 mm. Der Ausguß findet oberhalb des obersten Riegels nach dem Binnenhafen zu statt. Da es vorkommen kann, daß die Thore am Aufsenhaupt aus irgend einem Grunde bei Sturmfluthen in ihren Nischen liegen und die Thore am Binnenhaupt zur Abhaltung des Hochwassers benutzt werden müssen, so liegt auch die Möglichkeit vor, daß bei entsprechend hoher Sturmfluth Wasser durch den Wasserheber in den Einsteigeschacht der Aufsenhaupt-Thore dringt. Um dieses zu verhindern, ist am Ausguß eine bröncene Klappe angebracht, die überdies durch einen Ueberfall mit Spannvorrichtung fest auf den Sitz aufgedrückt werden kann. Der Ueberfall soll hauptsächlich während der Ueberführung eines auszuwechselnden Thorflügels von Brunsbüttel nach dem Lagerplatz der Ersatzthore bei Rendsburg verwandt werden. Der unterste Riegel ist auf der Oberseite in seiner ganzen Ausdehnung mit einer Betonschicht abgedeckt, die nach einem im Einsteigeschacht angeordneten Pumpensumpf Gefälle hat. Aus dem Sumpf saugt der Wasserheber, und nach ihm wird der Wasserinhalt einer zu entleerenden Kammer hingeleitet. Dieses geschieht mit Hilfe eines für alle Kammern gemeinschaftlichen Fallrohres, an das von jeder Kammer — mit Ausnahme der Wasserkammern zwischen dem zweiten

und dritten Riegel und der Luftkammer zwischen dem ersten und zweiten Riegel von unten — ein Zuleitungsrohr angeschlossen ist, das von dem Boden der Kammer ausgeht, wie aus Abb. 2 u. 3 Bl. 31 u. 32 ersichtlich ist. Innerhalb des Einsteigeschachtes ist in dieser Zuleitung ein Hahn angebracht und zwar ein Dreiweghahn. Von den drei Stutzen des Hahnkörpers sind zwei mit dem Zuleitungsrohr verbunden, der dritte abzweigende Stutzen führt mittels eines kurzen Rohrstückes an die Thorhaut, die hier durchbohrt ist. Mittels der Dreiweghähne ist es möglich, die oben aufgestellten Forderungen zu erfüllen; jede Thorkammer kann sowohl mit

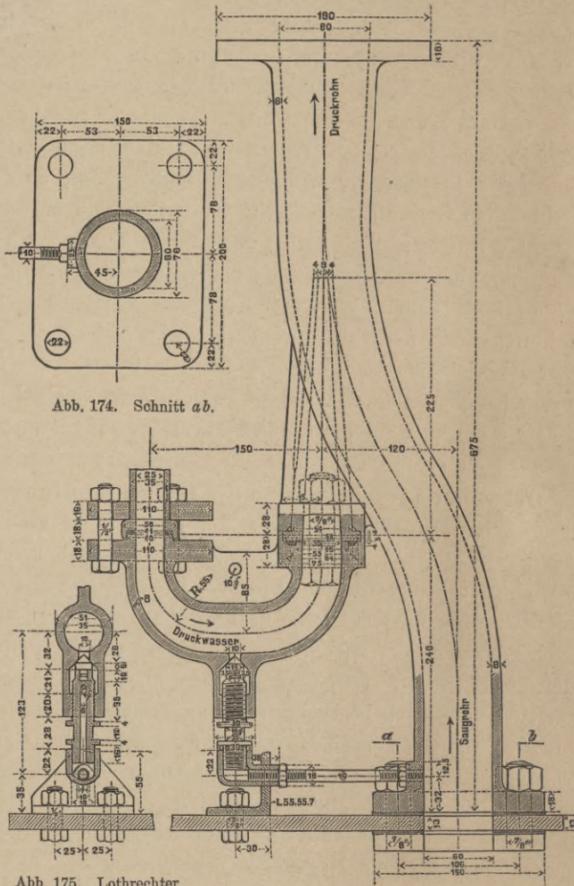


Abb. 175. Lothrechter Schnitt in der Ventilachse. Abb. 176. Lothrechter Schnitt und Ansicht.

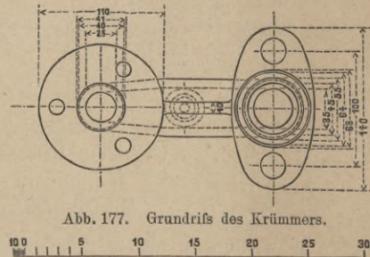


Abb. 177. Grundriß des Krümmers. Abb. 174 bis 177. Wasserheber mit Krümmer und Abflusventil.

dem Aufsenwasser auf der Hinterseite des Thores wie mit dem Fallrohr in Verbindung gesetzt werden, sie kann aber auch gegen beide abgesperrt werden. Im gewöhnlichen Betriebe sind die Dreiweghähne so gestellt, daß die Wasserkammern mit dem Aufsenwasser in Verbindung stehen, die Luftkammern jedoch sowohl gegen dieses wie gegen das Fallrohr abgesperrt sind. Die Einlaßöffnungen in der Thorhaut haben die in den Text-Abb. 178 bis 180 dargestellte Schutzvorrichtung aus Rothguß erhalten. Das rostartige Sieb soll das Eintreiben von Fremdkörpern in die Rohrleitungen und die Hähne verhindern, es kann abgeschraubt und durch den dicht schließenden Deckel, der in der Text-Abb. 180 dargestellt ist, ersetzt werden, sobald Instandsetzungsarbeiten an den Rohren oder Hähnen nothwendig werden. Selbst-

verständlich muß das Aufsetzen der Verschlussdeckel bei den unter Wasser liegenden Einströmungsöffnungen von einem Taucher ausgeführt werden, der beim Ein- und Ausschrauben des Siebes und des Verschlussdeckels zu benutzende Schlüssel ist in Text-Abb. 180 mit dargestellt. Für die beiden untersten Wasserkammern zwischen der Wendensäule und dem Einsteigeschacht, sowie für die unterste Luftkammer mußte eine andere Anordnung getroffen werden, wie aus Abb. 3 auf Bl. 31 u. 32 ersichtlich ist. Die beiden Wasserkammern stehen durch eine Oeffnung in dem Stehblech des sie trennenden Riegels mit einander in Verbindung, und nur die untere Kammer hat eine Verbindung mit dem Fallrohr und dem Außenwasser erhalten. Soll die unterste Wasserkammer leer gemacht werden, so kann dieses nur nach vorgängiger Entleerung der darüber befindlichen Kammer geschehen. Sobald diese wasserfrei ist, wird der Handgriff einer Kette zugänglich, die mit dem anderen Ende an einer Klappe befestigt ist. Diese Klappe dichtet ein kurzes Rohrstück ab, das an der Einsteigeschachtwand der untersten Kammer angebracht und etwas in die Betonsole der Kammer eingelassen ist. Die Schachtwand ist an dieser Stelle mit einer Oeffnung versehen, sodafs bei geöffneter Klappe das Wasser aus der

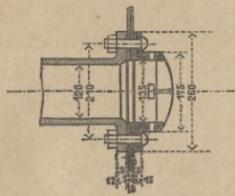


Abb. 178. Querschnitt durch die Einströmungsöffnung.

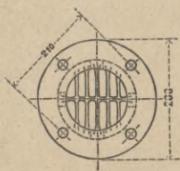


Abb. 179. Ansicht des rostartigen Siebes.

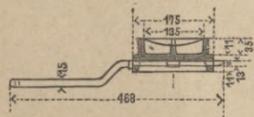


Abb. 180. Querschnitt durch den Deckel.

Abb. 178 bis 180. Schutzvorrichtung der Einströmungsöffnungen. 1:15.

Kammer nach dem Pumpensumpf im Einsteigeschacht abfließen kann. Bei gewöhnlichem Thorbetriebe sind die beiden in Frage stehenden Wasserkammern mit dem Außenwasser in Verbindung, während der Einsteigeschacht wasserfrei ist; es wird dann die Klappe durch den Wasserdruck so fest auf ihren Sitz gedrückt, daß eine ausreichende Dichtung erzielt wird. Auch die unterste Luftkammer steht durch ein Rohrstück mit Klappe mit dem Einsteigeschacht in Verbindung. Die Klappe ist hier jedoch so angeordnet, daß sie die Luftkammer abdichtet, sobald in dem Einsteigeschacht das Wasser ansteigt, was z. B. beim Entleeren einer der oberen Wasserkammern eintreten kann, wenn der Dreiwegehahn soweit geöffnet wird, daß das Wasser aus der Kammer schneller durch das Fallrohr nach dem Pumpensumpf abströmt, als der Wasserheber arbeiten kann. Die Rohre haben durchweg 110 mm lichte Weite erhalten und sind innen wie außen verzinkt, die Anschlüsse der Rohre an die Schachtwände und die Kammern sind mit Flanschen hergestellt und durch Gummiringe gedichtet. Bei steigendem oder fallendem Wasser muß der Wasserstand in den Wasserkammern sich mit dem Außenwasser ausgleichen; wenn dieses also in einer Minute um 1 cm steigt, so müssen, da der Querschnitt der großen Wasserkammer etwa 10 qm oder 1000 qdcm beträgt, in der Minute 100 l durch die Rohrleitung in die betreffende Kammer laufen. Da der Querschnitt der 100 mm weiten Rohre etwa gleich  $\frac{3}{4}$  qdcm ist, so muß die secundliche Geschwindigkeit des Wassers

$$\frac{100 \cdot 4}{60 \cdot 3} = 2,2 \text{ dem sein. Zur Erzeugung dieser Geschwindigkeit}$$

$$\text{keit ist ein Ueberdruck } h = \frac{v^2}{2g \cdot \mu} = \text{rund } \frac{0,22^2}{20 \cdot 0,6} = 0,004 \text{ m}$$

oder 4 mm nöthig, wenn von dem Druckhöhenverlust in der kurzen Leitung abgesehen wird. Ein schnelleres Fallen oder Steigen des Elbe- und des Ostsee-Wasserstandes als 1 cm in der Minute tritt nur selten ein. Beim Schleusen senkt und hebt sich der Wasserspiegel der Schleusen aber sehr viel rascher. Liegt z. B. der Außenwasserstand auf der Höhe + 22,50, der Schleusenwasserstand auf + 19,50, so beträgt beim Füllen der Schleuse die Hebung des Wasserspiegels in der Secunde bis zu 1,5 cm. Durch die Einströmungsöffnungen gelangt dann nicht soviel Wasser in die Wasserkammern der Thorflügel, daß die Wasserspiegel im Thor und in der Schleuse gleich sind, es fehlen vielmehr bei Eintritt der Ausspiegelung noch etwa 19 cbm, die erst im Verlauf von weiteren 7,5 Minuten in das Thor gelangen. Wird sofort nach der Ausspiegelung mit dem Oeffnen der Thore begonnen, so wird die Bewegung infolge der Entlastung des Spur- und des Halszapfens erleichtert, diese wirkt also günstig. Dabei liegt die Gefahr des Aufschwimmens der Thorflügel nicht vor, da der Zapfendruck noch immer  $47,5 - 19,0 = 28,5 \text{ t}$  beträgt. Wird der Wasserspiegel in der Schleuse mit dem Binnenwasser ausgeglichen, dann bleibt in den Thorflügeln der Wasserstand höher als in der Schleuse, das Gewicht derselben wird also vermehrt. Da die Thorflügel aber in diesem Falle durch den Wasserdruck fest gegen einander und an den Dremel und die Wendische gepreßt werden, so tritt eine Mehrbelastung des Spur- und Halszapfens dadurch nicht ein. Es hätte einer Vergrößerung der Rohrquerschnitte um ungefähr das vierfache bedurft, wenn der Wasserstand im Thor-Inneren und in der Schleuse annähernd gleichmälsig hätte sein sollen. Dann wären aber die Dreiwegehähne so unhandlich und der bereits jetzt nicht reichliche Raum im Einsteigeschacht so beschränkt worden, daß von einer solchen Vergrößerung Abstand genommen werden mußte.

Wenn sich der Wasserstand in einer Kammer ändert, wie es beim Schleusen stets der Fall ist, oder wenn eine Kammer entleert oder gefüllt wird, so muß Luft in dieselbe eintreten oder aus ihr austreten können. Es ist deshalb für jede einzelne der Kammern ein Rohr von 42 mm Lichtweite angeordnet worden, das von der Kammerdecke ausgeht und alle oberhalb liegenden Riegel durchdringend bis über den obersten Riegel hinausreicht. Der Durchgang der Rohre durch die Stehbleche mußte wasserdicht hergestellt werden,

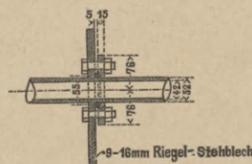


Abb. 181. Dichtung der Lüftungsrohre. 1:15.

und dies ist durch die in der Text-Abb. 181 dargestellte Dichtung erreicht worden. Für die Unterhaltungsarbeiten im Thor-Inneren ist die Zuführung frischer Luft sehr erwünscht. Es wird dadurch nicht nur die Arbeitsfähigkeit der beschäftigten Leute erhöht, sondern auch

das Trocken neuer Anstriche, deren Ausführung den hauptsächlichsten Theil der Unterhaltungsarbeiten bildet, sehr begünstigt. Eine natürliche Lüftung von ausreichender Stärke liefs sich bei den Thoren nicht beschaffen, es mußte deshalb für eine künstliche Lüftung Sorge getragen werden. Da Druckwasser in reichlicher Menge vorhanden ist und für die Wasserheber bereits in die Thore eingeführt werden mußte, so sind Wasserstrahl-Ventilatoren gewählt, die nach dem Patent von Gebrüder Körting in Körtingsdorf bei Hannover für eine stündliche Leistung von 300 cbm bei 50 Atmosphären Betriebsdruck ausgeführt sind. Die oberen Enden der Lüftungsrohre

für die Kammern links und rechts von dem Einsteigeschacht sind je an einen gußeisernen Hohlkörper angeschlossen, der sich über dem obersten Riegel befindet (siehe Abb. 3 und 7 auf Bl. 31 u. 32). Beide Gußkörper sind durch ein 60 mm im lichten weites schmiedeeisernes Rohr verbunden, und der Ventilator ist auf dem Körper, der nahe der Wendesäule steht, angebracht. Die Lüftungsrohre sind am Anschluß an die beiden Gußkörper mit Hähnen versehen, sodafs sowohl jede Kammer einzeln wie auch in Verbindung mit einer beliebigen anderen Kammer oder mehreren gelüftet werden kann. Die eigenartig geformte Düse des Ventilators hat eine große Anzahl feiner Oeffnungen von  $\frac{3}{4}$  mm Durchmesser, durch die das Druckwasser ausströmt. Die mitgerissene Luft und das Betriebswasser treten in Form eines ganz feinen Nebels ins Freie. Die Zuführung des Druckwassers zum Ventilator erfolgt in einer 13 mm im lichten weiten Leitung, die von der Leitung zum Wasserheber im Einsteigeschacht und zwar dicht unter dem obersten Riegel abzweigt. Der Ventilator saugt die Luft aus den Kammern; um ein Einströmen frischer Luft zu ermöglichen, müssen die zu den Kammern führenden Mannlöcher vom Einsteigeschacht aus geöffnet werden. Wird nicht gelüftet, dann müssen die Hähne aller Rohrleitungen, die zu den innerhalb der Zone der wechselnden Wasserstände liegenden Kammern gehören, geöffnet sein, damit die Luft durch den Ventilator, die Gußkörper und die Rohre einen Zugang zu diesen Kammern und ebenso einen Weg zum Abfließen findet. Die Hähne der Luftkammern könnten geschlossen sein, es ist indessen Betriebs-Vorschrift, daß sämtliche Hähne geöffnet sind, wenn der Ventilator nicht in Betrieb ist.

Die Berechnung der Riegel und der Thorhaut. Nachdem im vorstehenden eine Beschreibung der Thore gegeben ist, sollen nunmehr einige Angaben über die bei der Berechnung der Riegel und der Thorhaut gemachten Annahmen und den Gang der Berechnung folgen. Die Thorhaut hat den Druck des Wassers auf die Riegel zu übertragen. Da jede einzelne der Kammern, in die das Thor-Innere geteilt ist, mit Luft gefüllt sein kann, so kann auf die einzelnen Hautbleche der volle Druck, der der Lage des Bleches unter dem Wasserspiegel entspricht, einwirken. Der höchste beobachtete Elbewasserstand hat auf der Höhe + 25,01 gelegen, in Rücksicht auf den Wellenschlag ist jedoch angenommen, daß der Wasserspiegel bis zur Höhe + 25,5 ansteigen kann. Bei einem solchen Hochwasser werden gewöhnlich sowohl die Fluthore am Aufsenhaupt wie die am Binnenhaupt geschlossen sein, und in der Schleuse wird ein Wasserstand gehalten werden, der etwa in halber Höhe zwischen dem Elbe- und dem Canalwasserstand liegt. Dann wirkt auf die äußere Haut der Aufsenhauptthore ein Druck, der dem Wasserstande + 25,5 entspricht, auf die innere Haut der Aufsenhauptthore und die äußere Haut der Binnenhauptthore ein Druck entsprechend dem Schleusenwasserstande und auf die innere Haut der Binnenhauptthore ein Druck, der dem Canalwasserstande entspricht. Es kann aber der Fall eintreten, daß die Aufsenhauptthore beschädigt sind und deshalb in ihren Nischen liegen, während die Binnenhauptthore allein geschlossen sind und den ganzen Wasserüberdruck auszuhalten haben. Dann erhalten die Hautbleche der Aufsenhauptthore auf beiden Seiten und die der Binnenhauptthore auf der Aufsenseite einen Druck, der dem auf + 25,5 liegenden Elbe-Wasserstande entspricht. Sie sollen dann höchstens mit 1200 kg für 1 qcm Querschnittsfläche beansprucht werden. Ein Elbewasserstand von + 22,5 kommt häufiger vor; dann wird noch geschleust, und der Wasserstand in der Schleuse entspricht dabei bald dem Elbewasserstand, bald dem Canalwasserstand. Mithin haben wieder die Hautbleche des Aufsenhauptthores auf beiden

Seiten und das äußere Hautblech des Binnenhauptthores den hohen Wasserdruck auszuhalten, bei dem sie höchstens mit 900 kg beansprucht werden sollen, während das innere Hautblech nur einen Druck erfährt, der dem Canalwasserstande entspricht. Dieses Blech könnte also schwächer gemacht werden als die übrigen; dann hätten aber besondere Ersatzflügel für das Aufsenhaupt und das Binnenhaupt beschafft werden müssen, und um dieses zu vermeiden, haben die Hautbleche der Thore auf beiden Seiten gleiche Stärken erhalten. Die Thorhaut besteht aus Blechen mit wagerechter Längserstreckung, die an ihrem oberen und unteren Rande mit dem zu diesem Zweck besonders breit gewählten ersten Gurtplatten der Riegel vernietet sind und durch lothrechte, an die Riegel angeschlossene  $\perp$ -Eisen versteift werden. Die  $\perp$ -Eisen haben eine größte Entfernung von 0,56 m von einander, sie theilen die Bleche in einzelne Felder von etwa 1,2 m Höhe und 0,55 m Breite. Wenn eine langgestreckte rechteckige ebene Platte, die an allen vier Seiten fest eingespannt ist, durch einen gleichmäßigen Druck belastet wird, dann tritt nach den Versuchen von Bach (vergl. Bach, Elasticität und Festigkeit) der Bruch vorwiegend in der Mitte der Platte gleichlaufend zu den langen Seiten ein, und er verliert sich nach einer Wendung von  $135^\circ$  nach den Ecken zu. Dabei stellt sich der Einfluß der Einspannung an den kurzen Seiten als so geringfügig heraus, daß er bei der Berechnung vernachlässigt werden kann. Ein mit den Schmalseiten der Platte gleichlaufender Streifen ist also als ein Balken zu betrachten, der an seinen beiden Enden eingespannt ist und somit einem größten Angriffsmoment von  $q \cdot \frac{l^2}{12}$  zu widerstehen hat. Die Hautbleche der

Thore können als solche Platten angesehen werden, nur ist die Belastung der einzelnen Bleche keine ganz gleichmäßige, da der untere Theil jedes Bleches tiefer unter dem Wasserspiegel liegt als der obere, also auch einem stärkeren Druck zu widerstehen hat. Für die Berechnung der Blechhautstärken ist für jedes Riegelfeld derjenige Wasserdruck als maßgebend angenommen worden, der in 0,25 m Höhe über der Mitte des unteren Riegels herrscht. Für die Thorhaut im untersten Riegelfeld wurde also der Druck in der Höhe + 9,77 + 0,25 = + 10,02 der Berechnung zu Grunde gelegt. Bei einem Wasserstande von + 25,5 beträgt die Höhe der wirksamen Wassersäule 25,5 - 10,02 = 15,48 m, und der Druck für 1 qcm Hautfläche hinreichend genau 1,548 kg. Das größte Biegemoment für einen Hautstreifen von 1 cm

Breite ergibt sich zu  $1,548 \cdot \frac{56 \cdot 56}{12} = 405 \text{ kg} \cdot \text{cm}$ .

Wenn  $\delta$  die Blechstärke und 1200 kg die zulässige Beanspruchung ist, dann muß sein

$$\frac{\delta^2}{6} \cdot 1200 = 405, \quad \delta^2 = \frac{405 \cdot 6}{1200} = 2,025, \quad \delta = 1,42 \text{ cm}.$$

Bei einem Wasserstande von + 22,50 beträgt der Druck auf 1 qcm der Hautfläche an der fraglichen Stelle  $\frac{22,5 - 10,02}{10}$  = 1,248 kg. Das Biegemoment ist

$$1,248 \cdot \frac{56 \cdot 56}{12} = 326,1 \text{ kg} \cdot \text{cm},$$

und die Blechstärke muß bei 900 kg zulässiger Beanspruchung sein

$$\delta = \sqrt{\frac{326,1 \cdot 6}{900}} = 1,47 \text{ cm}.$$

Die letztere Belastungsannahme giebt also die größere Blechstärke und ist deshalb maßgebend. Die Bleche sind 1,5 cm stark gewählt worden. In gleicher Weise sind die Blechstärken in den übrigen Riegelfeldern und auch die Stärken der den Einsteigeschacht begrenzenden Querwände ermittelt worden.



und deshalb mußte ihre Länge durch probeweise Ermittlung der in einzelnen Riegelquerschnitten auftretenden Spannungen festgestellt werden. Die Gurtplatten haben übrigens in beiden Gurtungen die gleiche Länge erhalten, damit der Riegelquerschnitt überall symmetrisch ist.

Der betrachtete Riegel bildet die Decke des Schwimmkastens, er wird also auch noch durch die auf ihm ruhende Wasserlast beansprucht; diese entfällt hauptsächlich auf das Stehblech, in welchem also die Beanspruchung noch festzustellen ist. Der Riegel liegt auf der Höhe + 15,85; wenn ein Ueberdruck von 5,70 m auf ein Thor einwirkt, so befindet sich hinter diesem ein Wasserstand von + 19,80, und der Druck auf 1 qcm Stehblechfläche beträgt  $\frac{19,80 - 15,85}{10}$

= 0,395 kg. Die Stehbleche sind genau wie die Bleche der Thorhaut durch 56 cm von einander entfernte Aussteifungen in langgestreckte rechteckige Felder geteilt. Ein infolge einer gleichmäßigen Belastung auftretender Bruch wird also nach den Bachschen Versuchen in einer Linie erfolgen, die in der Mitte des Feldes parallel zu den langen Seiten verläuft und sich dann nach einer Wendung von  $135^\circ$  nach den Ecken zu verliert. Dort, wo der Bruch auftritt, ist auch die größte Materialbeanspruchung, diese wird also in der Mitte der Platte auftreten und in dem Theil des Bruches, der parallel zu den langen Seiten ist, nahezu gleichmäßig hoch sein. Je weiter nun eine Faser von der Symmetrieachse des Riegels entfernt ist, desto größere Spannungen werden in ihr durch die Momente des Wasserdrucks und des Stemmendrucks hervorgerufen, es kommt also für die Ermittlung der Spannungen im Riegelstehblech darauf an, festzustellen, bis zu welcher Entfernung von dem Schwerpunkt des Riegelquerschnittes die durch die unmittelbare Wasserbelastung des Stehbleches erzeugte gleichmäßig hohe Beanspruchung vorhanden ist. Bach hat

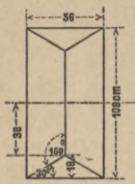


Abb. 183. Bruchfuge im Riegelstehblech. 1:25.

gefunden, daß der Winkel, unter dem der Bruch nach der Ecke eines Bleches verläuft,  $135^\circ$  beträgt, für die Berechnung der Riegel ist die, ungünstigere Annahme gemacht, daß er  $150^\circ$  beträgt, daß also ein Bruch der Riegelstehbleche nach der Text-Abb. 183 verlaufen würde. Es ist dann die hohe Beanspruchung noch bis zu einer Entfernung von 38 cm vom

Schwerpunkt des Riegels vorhanden, und sie berechnet sich aus der Gleichung

$$\delta^2 \cdot \frac{k}{6} = q \cdot \frac{l^2}{12}, \text{ oder bei 1,6 cm Stehblechstärke:}$$

$$\frac{1,6^2}{6} \cdot k = 0,395 \cdot \frac{56^2}{12}$$

$$k = \frac{0,395 \cdot 56^2}{1,6^2 \cdot 2} = \pm 242 \text{ kg.}$$

Da die Beanspruchung des Stehbleches an der fraglichen Stelle fernerhin beträgt:

durch den Stemmdruck: - 363 kg,  
durch das Moment des Stemmendrucks:

$$\frac{326 \cdot 38}{67,8} = \pm 183 \text{ kg,}$$

durch das Moment des Wasserdrucks:

$$\mp \frac{1088 \cdot 38}{67,8} = \mp 610 \text{ kg,}$$

so ergibt sich die höchste Gesamtbeanspruchung des Stehbleches an der fraglichen Stelle zu:  $-242 - 363 - 610 + 183 = -1032$  kg. Wenn bei dem höchsten Hochwasser die Aufsenhauptthore geschlossen sind und der Wasserstand in der Schleuse auf der Höhe + 22,50 liegt, dann erfährt das

Stehblech eine unmittelbare Belastung von  $\frac{22,50 - 15,85}{10}$

= 0,665 kg auf 1 qcm Fläche, und die durch diese Belastung hervorgerufene Beanspruchung wird  $\pm \frac{242 \cdot 0,665}{0,395}$

=  $\pm 407$  kg. Da der Ueberdruck dann nur noch 3 m beträgt, sinken die anderen Spannungen auf zusammen

$$(-363 - 610 + 183) \cdot \frac{3,00}{5,70} = -416 \text{ kg,}$$

sodafs die Gesamtbeanspruchung  $-407 - 416 = -823$  kg beträgt. Bei einem Aufsenwasserstande von + 22,5 und einem Canalwasserstande von + 19,3 kann der Ueberdruck beim Schleusen 3,2 m betragen, also die Beanspruchung des Stehbleches an der fraglichen Stelle durch denselben gleich

$$-\frac{790 \cdot 3,2}{5,7} = -444 \text{ kg}$$

werden. Der unmittelbare Wasserdruck auf das Stehblech beträgt dann aber nur  $\frac{19,3 - 15,85}{10} = 0,345$  kg auf 1 qcm Stehblechfläche und die dadurch hervorgerufene Beanspruchung

$$\pm \frac{242 \cdot 0,345}{0,395} = \pm 211 \text{ kg,}$$

sodafs eine höchste Gesamtbeanspruchung entsteht von  $-444 - 211 = -655$  kg. In der Riegelmitte ist also auch das Stehblech ausreichend stark; es fragt sich aber, ob dies auch an den übrigen Stellen des Riegels der Fall sein wird. In seinem mittleren Theil laufen die Gurtungen parallel, von der Riegelmitte bis zum Ende der äußeren Gurtplatte müssen die Gesamtbeanspruchungen abnehmen, da das Biegemoment des Wassertüberdruckes abnimmt, während bei allen übrigen Spannungen und ebenso beim Riegelquerschnitt keine Aenderung eintritt. Infolge der Verringerung des Querschnittes und damit des Widerstandsmomentes tritt am Ende der äußersten Gurtplatte eine Erhöhung der Gesamtspannung ein, durch die jedoch die Gesamtbeanspruchung in der Riegelmitte nicht erreicht wird. Mehr nach den Enden des Riegels zu nimmt seine Höhe erheblich ab und dementsprechend sowohl der Querschnitt wie das Widerstandsmoment. Hier mußte durch probeweise Berechnungen festgestellt werden, ob die Beanspruchungen stets unter dem zugelassenen Mafse bleiben, und es wurde gefunden, daß die Beanspruchung des Stehbleches in einem Querschnitt, der 162 cm Entfernung von dem Riegel-Ende hat und genau

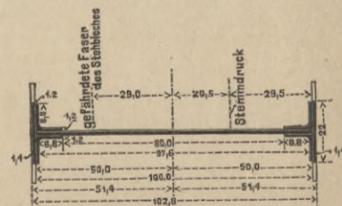


Abb. 184. Querschnitt des Riegels in 162 cm Entfernung vom Riegel-Ende. 1:25.

in der Mitte zwischen zwei Stehblech - Aussteifungen liegt, am größten ist. Der Riegel hat dort den in der Text-Abbildung. 184 gezeichneten Querschnitt, dessen Fläche  $F = 312$  qcm, dessen Trägheitsmoment  $J = 492358$  cm<sup>4</sup> und dessen Widerstandsmoment

$W = 9579$  cm<sup>3</sup> ist. Der Stemmdruck wirkt parallel und in 29,5 cm Abstand von der Außenseite der hinteren Gurtwinkel, bezogen auf den Schwerpunkt der Querschnittsfläche hat er somit einen Hebelsarm von  $50 - 29,5 = 20,5$  cm. Die gefährdete Faser des Stehbleches kann 29 cm von dem Schwerpunkt entfernt angenommen werden. Das Biegemoment des Wasserdrucks ist  $M = \frac{qx(l-x)}{2}$ , und zwar ist bei 5,7 m Wasserstands-

unterschied  $M = 86,6 \cdot \frac{162}{2} (1380 - 162) = 8543783$  kg-cm.

Das Biegemoment der Stemmkraft ist

$$179262 \cdot 20,5 = 3674871 \text{ kg-cm,}$$

das resultirende Moment

$$8543783 - 3674871 = 4868912 \text{ kg}\cdot\text{cm},$$

ferner die Beanspruchung in der äußersten Faser des Querschnitts

$$\frac{4868912}{9579} = \pm 508 \text{ kg},$$

und die Beanspruchung in der fraglichen Faser

$$\pm \frac{508 \cdot 29}{51,4} = \pm 287 \text{ kg},$$

während die Druckbeanspruchung durch die Stemmkraft

$$\frac{179262}{312} = -575 \text{ kg beträgt.}$$

Die die beiden zuletzt berechneten Beanspruchungen hervorrufenden Spannungen wirken parallel zur neutralen Achse, senkrecht zu dieser wirkt nun noch eine Schubspannung, die infolge der Biegemomente entsteht. Bezüglich der Vertheilung dieser Schubspannung über einen Querschnitt gehen die Ansichten weit auseinander, deshalb wurde der Berechnung der Riegel die ungünstige Annahme zu Grunde gelegt, daß die Schubspannung senkrecht zur neutralen Achse gleich derjenigen ist, die an der fraglichen Stelle parallel zur neutralen Achse wirkt und aus der Formel zu berechnen ist:

$$Sch = \frac{Q \cdot S}{J},$$

in der

$$Q \text{ die Transversalkraft} = 86,6 \left( \frac{1380}{2} - 162 \right) = 45725 \text{ kg},$$

$J$  das Trägheitsmoment =  $492358 \text{ cm}^4$  und  $S$  das statische Moment des Querschnittes bis zur fraglichen Faser, bezogen auf die neutrale Achse, ist, also

$$S = 22 \cdot 1,4 \cdot 50,7 + 21 \cdot 1,6 \cdot 39,5 + 2 \cdot 10 \cdot 1,2 \cdot 45 + 2 \cdot 8,8 \cdot 1,2 \cdot 49,4 = 5011 \text{ cm}^3.$$

Die Schubbeanspruchung wird

$$\frac{Sch}{1,6} = \frac{45725 \cdot 5011}{492358 \cdot 1,6} = 291 \text{ kg}.$$

Werden die Normalbeanspruchungen  $287 + 575 = 862 \text{ kg}$  nach der von Bach in seinem Werke: „Elasticität und Festigkeit“ auf Seite 249 angegebenen Formel 170 mit der Schubbeanspruchung zu einer Mittelkraft zusammengesetzt, so ergibt sich diese zu

$$R = 0,35 \cdot 862 + 0,65 \sqrt{862^2 + 4 \cdot 291^2} = 978 \text{ kg}.$$

Zu dieser Mittelkraft kommt nun noch die Beanspruchung durch die unmittelbare Belastung des Stehbleches, die ebenso wie in der Mitte des Riegels  $242 \text{ kg}$  beträgt. Beide Beanspruchungen zusammen ergeben

$$978 + 242 = 1220 \text{ kg},$$

es wird also die zulässige Beanspruchung um ein geringes überschritten. Da jedoch die Spannungen nicht in derselben Richtung wirken, auch überdies alle Rechnungsannahmen sehr ungünstig gewählt sind, so wurde von einer Verstärkung des Stehbleches Abstand genommen. Bei einem Elbewasserstande von  $+25,50$  und einem Schleusenwasserspiegel von  $+22,50$  beträgt der Wasserüberdruck auf das Aufsenhauptthor  $3 \text{ m}$ . In der gefährdeten Faser des Stehbleches betragen dann

$$\text{die Druckbeanspruchungen } \frac{862 \cdot 3,0}{5,7} = 454 \text{ kg},$$

$$\text{die Schubbeanspruchungen } \frac{291 \cdot 3,0}{5,7} = 153 \text{ kg},$$

sodafs die Mittelkraft ist:

$$R = 0,35 \cdot 454 + 0,65 \sqrt{454^2 + 4 \cdot 153^2} = 515 \text{ kg}.$$

Die unmittelbare Belastung des Riegelstehbleches beträgt  $\frac{22,50 - 15,85}{10} = 0,665 \text{ kg}$  für  $1 \text{ qcm}$  Fläche und die Beanspruchung aus dieser Last

$$\frac{242 \cdot 0,665}{0,395} = 407 \text{ kg}.$$

Die Mittelkraft der Druck- und Schubbeanspruchungen und die Beanspruchung durch die unmittelbare Wasserbelastung betragen zusammen  $515 + 407 = 922 \text{ kg}$ ; es wird also auch unter diesen Wasserstandsverhältnissen die zulässige Beanspruchung um ein geringes überschritten. Aus den bereits angegebenen Gründen wurde auch diese Ueberschreitung zugelassen. Bei  $+22,50$  Aufsenwasserstand und  $+19,20$  Schleusen- oder Canalwasserstand werden die Beanspruchungen, wie aus der bezüglichen Berechnung für die Riegelmitte hervorgeht, erheblich geringer als die zuletzt gefundenen, es ist deshalb von der Durchführung dieser Berechnung Abstand genommen worden.

In gleicher Weise wie bei dem vorliegenden Riegel sind bei allen übrigen die Abmessungen ermittelt worden; hinsichtlich der Stehblechstärken ist jedoch noch zu erwähnen, daß für die Riegel, welche die Luftkammern von einander trennen, andere Annahmen für die Belastung durch den unmittelbaren Wasserdruck gemacht werden konnten, als bei allen anderen Riegeln. Wenn eine Luftkammer mit Wasser gefüllt werden muß, dann wird man nach deren vollständiger Füllung die Verbindung mit dem Aufsenwasser abschließen und durch Ablassen eines kleinen Theiles ihres Wasserinhaltes nach dem Pumpensumpf im Einsteigeschacht dafür sorgen, daß der die betreffende Kammer nach oben abgrenzende Riegel überhaupt keinen unmittelbaren Wasserdruck mehr erhält, während der untere Riegel nur durch eine Wassersäule, die eine Höhe gleich der Riegelentfernung hat, belastet wird. In entsprechender Weise wird man verfahren, wenn eine der kleinen Wasserkammern zwischen dem Einsteigeschacht und der Wendensäule entleert werden muß. Da das Füllen von Luftkammern und das Entleeren von Wasserkammern stets nur dann vorgenommen werden wird, wenn das betreffende Thor geöffnet ist oder nur einen geringen Wasserüberdruck auszuhalten hat, sodafs während dieser Maßnahmen in den Stehblechen keine großen Spannungen auftreten werden, so konnten die Stehbleche der drei in Frage kommenden Riegel verhältnismäßig schwächer gemacht werden als bei allen übrigen Riegeln. Zu weit durfte damit jedoch nicht gegangen werden, da einmal die Aufsenhaut einer Luftkammer so beschädigt werden kann, daß sich die Kammer mit Wasser füllt, und da ferner der Fall wohl denkbar ist, daß infolge einer Unachtsamkeit der Schleusenwärter die Verbindung der Luftkammer mit dem Aufsenwasser doch geöffnet bleibt. Die Blechstärken wurden so gewählt, daß in solchem Falle die Beanspruchung unter  $1600 \text{ kg}$  bleibt, also das Eintreten von bleibenden Formänderungen der Riegelstehbleche auch dann noch ausgeschlossen ist. Die bezügliche Berechnung hat ergeben, daß die Stärke der Stehbleche der drei Riegel  $15, 14$  bzw.  $13 \text{ mm}$  betragen muß. Die Wasserkammern oberhalb der Luftkammerdecke müssen mit dem Aufsenwasser in steter Verbindung stehen; wenn also eine derselben entleert ist, dann erhalten die beiden sie begrenzenden Riegel den ihrer Lage unter dem jeweiligen Wasserspiegel entsprechenden Druck, und deshalb wurden ihre Stehbleche für eine höchste Beanspruchung von  $1200 \text{ kg}$  berechnet.

## 2. Die Ebbethore der Schleusen in Brunsbüttel und Holtenau.

(Hierzu die Abbildungen auf Bl. 33 u. 34.)

Die Länge der Ebbethorflügel ist genau so groß wie die der Fluththore, die Höhe konnte jedoch erheblich geringer angenommen werden, weil die vor den geschlossenen Thoren auftretenden höchsten Wasserstände sowohl in Brunsbüttel wie in Holtenau die Höhenlage  $+20,27$  nicht überschreiten können. Bei diesem Verhältniss der Thorlänge

zur Thorhöhe schien es zweckmässig, das Thorgerippe der Ebbethore aus lothrechten Ständern zu bilden, die sich einerseits gegen einen oberen wagerechten Riegel und andererseits gegen den Drempel stützen. Demgemäss bestehen die Ebbethore im wesentlichen aus

1. einem Rahmen, gebildet aus einem oberen und einem unteren Riegel, einer Wendesäule und einer Schlagsäule, welche letztere sich von den Mittelständern nur durch eine geringere Breite unterscheidet,

2. acht senkrechten Ständern, welche die wagerechte Entfernung zwischen Wende- und Schlagsäule in neun gleiche Felder theilen,

3. der Thorhaut mit ihren Aussteifungen und

4. einer wagerechten Versteifungswand, die das Thor-Innere in Verbindung mit den Ständern in eine grössere Anzahl von Abtheilungen theilt.

Der beim Schleusenbetriebe auf die Thore wirkende Wasserüberdruck wird von der dem höheren Wasserstande zugekehrten Thorhaut mit Hilfe ihrer Versteifungen auf die senkrechten Ständer übertragen und von diesen aus theils dem oberen Riegel, theils mittelst des unteren Riegels dem Drempelmauerwerk zugeführt. Dabei entfällt zwar der grössere Theil des Wasserüberdrucks auf das Drempelmauerwerk, immerhin wird aber die Belastung des oberen Riegels ganz erheblich grösser, als die der einzelnen Riegel z. B. der Brunsbütteler Fluththore, und dementsprechend wird auch die durch den oberen Riegel auf das Schleusenmauerwerk übertragene Stemmkraft viel grösser als bei den Fluththoren. Die Höhenlage des Riegels mußte in Rücksicht hierauf so gewählt werden, dafs der Stemmdruck mit Sicherheit von dem Schleusenmauerwerk aufgenommen werden kann, andererseits war sie aber auch von der Höhenlage der zur Bewegung der Thorflügel dienenden Zahnstangen abhängig. Wie bereits oben erörtert worden ist, schliessen bei den vier am Aufsens- oder Binnenhaupt der Schleusen vorhandenen Thorflügeln drei Zahnstangen in gleicher Höhe an, während die vierte Zahnstange um soviel tiefer gelegt ist, dafs die Laufbahnen für die Zahnstangen der beiden zur Mittelmauer gehörigen und von ihr aus bewegten Thorflügel innerhalb dieser Mauer übereinander angeordnet werden konnten. Um das bei der Bewegung der Thorflügel aus der Zahnstangenspannung hervorgehende, auf Verdrehung des oberen Riegels hinwirkende Moment bei allen Thorflügeln möglichst klein zu erhalten, wurden die Anschlüsse für die drei hoch liegenden Zahnstangen ebenso weit über dem obersten Riegel angeordnet wie der Anschluß der vierten, tief liegenden Zahnstange, unter dem Riegel vorgesehen wurde; der Riegel liegt also genau in der Mitte zwischen den Anschlüssen. Die Höhenlage der unteren Zahnstange mußte in Rücksicht auf die von Zeit zu Zeit nothwendige Besichtigung und die Unterhaltungsarbeiten so gewählt werden, dafs die Stange sowohl in Brunsbüttel wie in Holtenau häufig genug über dem Wasserspiegel zu liegen kommt. Infolge dessen wurde für die Mitte der unteren Zahnstange in Holtenau die Höhenlage +19,93 angenommen, sodafs sie in Brunsbüttel wegen der um 0,40 m tieferen Lage der Drempel auf +19,53, d. i. 1 m über dem gewöhnlichen Niedrigwasser liegt. Hiernach ergab sich für die Mitte des oberen Riegels die Höhe in Brunsbüttel zu +19,99 und in Holtenau zu +20,39 m.

Die Grundriffsform der Ebbethore stimmt nicht vollständig mit der der Fluththore überein, hervorgerufen sind die Abweichungen im wesentlichen durch den Fortfall der Stemmleiste an der Wendesäule und die dadurch möglich gewordene einfachere Form dieser Säule. Auch sind die Ebbethore etwas weniger dick, weil die Dichtungsleiste an dem

unteren Riegel nicht wie bei den Fluththoren an dem Stehblech des Riegels befestigt ist, sondern auf die Gurtplatte desselben aufgelegt ist, und deshalb der Abstand des Thores vom Drempel vergrößert werden mußte. Der Mittelpunkt der Wendenische liegt auch bei den Ebbethoren 0,45 m hinter der Flucht der Schleusenmauern, und eine durch den Mittelpunkt gleichlaufend mit dem Drempel gelegte Linie hat 0,45 m Abstand von ihm. Ebenso ist die Ausrundung der Wendenische nach einem Halbmesser von 0,45 m ausgeführt, der sich allerdings dort, wo die Kraftübertragung von dem oberen Riegel und, wie später näher erörtert werden wird, unter Umständen auch von dem unteren Riegel auf das Schleusenmauerwerk erfolgt, auf 0,44 m ermässigt.

Der untere Riegel hat nur die von den Ständern auf ihn übertragenen Wasserdruckkräfte an das Drempelmauerwerk zu übermitteln, er brauchte also nicht für die Aufnahme von Biegungsspannungen hergerichtet zu werden und konnte aus

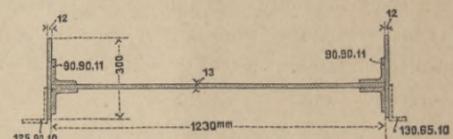


Abb. 185. Querschnitt des unteren Riegels der Ebbethore in der Thormitte. 1:25.

einem Blechträger gebildet werden, dessen Gurte mit einer Kopfplatte nur des Anschlusses der Thorhaut wegen versehen wurden. Der Querschnitt des unteren Riegels, wie er in der Thormitte vorhanden ist, ist in der Text-Abb. 185 dargestellt. Die gestrichelten Winkel sind der Dichtungsleiste und der Schutzleiste wegen angebracht worden. Wie aus den Abb. 1, 5, 6, 7 u. 8 Bl. 33 u. 34 zu ersehen ist, hat das Stehblech Aussteifungen erhalten, die zwischen den Ständern aus  $\perp$ -Eisen (N.-Pr. Nr. 14) bestehen und das Stehblech gegen den von unten her wirkenden Wasserdruck sichern. Die  $\perp$ -Eisen sind mit dem Stehblech vernietet, ausserdem aber mittels Anschlussblechen und lothrechten Winkeln, die bis zu der untersten Reihe der wagerechten Versteifungsträger der Thorhaut hinaufreichen, an die Blechhaut der Thore angeschlossen. Die Gefahr des Ausbauchens der so gebildeten Consolen liegt nicht vor, weil zu solchen Zeiten, wo auf das Riegelstehblech die grossen Wasserdrucke einwirken, auch nahezu derselbe Druck auf die unteren Theile der Thorhaut zur Geltung kommt. Berechnet mußte das Riegelstehblech mit seinen Aussteifungen für einen Druck werden, der dem höchsten in Brunsbüttel vorkommenden Wasserstande, also der Höhenlage +25,50, entspricht.

Zwischen den beiden unteren Riegeln zweier zusammengehörigen Thorflügel ist ein kleiner Zwischenraum gelassen, sodafs Stemmkräfte in den Riegeln nicht entstehen können. Um aber auch dann, wenn sich zwischen die Riegel-Enden in dem letzten Augenblick vor dem Anlegen der Thorflügel an den Drempel ein fester Gegenstand einklemmen sollte, den Spurzapfen vor der Einwirkung grösserer wagerechter Kräfte zu schützen, ist an dem unteren Riegel ein Gleitlager angebracht, das abgesehen von der nur 36 cm betragenden Höhe dieselben Abmessungen hat, wie das am oberen Riegel befindliche, später näher zu beschreibende Stemmdrucklager. An beiden Enden ist das Riegelstehblech durch zwischen die Gurtungswinkeleisen gelegte Platten verstärkt worden. An der Wendesäule, wo das Stehblech besonders stark sein muß, da es hier unter Umständen das ganze Gewicht des Thorflügels aufzunehmen hat, wurden noch zwei weitere Platten angeordnet, die über die wagerechten Schenkel der Gurtwinkel hinweggreifen, und ausserdem wurde

das Stehblech durch eine senkrechte Platte, die an die Blechhaut der Wendesäule mit Winkeleisen angeschlossen ist, kräftig versteift.

Der obere Riegel hat genau dieselbe Grundform wie der untere Riegel, seine Gurtungen mußten aber erheblich stärker werden, da er sowohl durch den Wasserdruck wie auch durch die Stemmkraft beansprucht wird. Für die Berechnung des Riegels und ebenso für die der Ständer wurde angenommen, daß vor und hinter den Ebbethoren Wasserstandsunterschiede von 3 m auftreten können. Bei dieser Annahme wurde davon ausgegangen, daß während der tiefsten Niedrigwasserstände der Elbe im Canal höhere Wasserstände als die normalen nicht auftreten können. Die infolge des Wasserüberdrucks von 3 m Höhe auftretende Belastung des oberen Riegels beträgt für jeden Meter Länge desselben 10740 kg, und die Stemmkraft ergibt sich zu 238000 kg. Die beiden Kräfte erzeugen — ebenso wie bei den Fluththoren — Momente, die einander entgegenwirken, sodafs sich die entstehenden Spannungen gegenseitig zum Theil aufheben. Angesichts der außerordentlich großen, zur Wirkung gelangenden Kräfte mußte Werth darauf gelegt werden, daß dieses gegenseitige Aufheben der Spannungen in möglichst großem Umfange stattfindet. An dem Moment des Wasserdrucks liefs sich nichts ändern, es war durch die Thorflügel-Länge und -Höhe und durch den Wasserstandsunterschied vor und hinter dem Thor gegeben. Ebenso wenig war eine Verminderung oder Vergrößerung der Stemmkraft möglich, dagegen liefs sich der Hebelsarm der Stemmkraft und damit ihr Moment innerhalb gewisser Grenzen vergrößern. Dieses wurde dadurch erreicht, daß die Stemmkraft selbst möglichst nahe an die Hinterseite und der Schwerpunkt des Riegelquerschnittes möglichst nahe an die Vorderseite des Thores gelegt wurde. Wie bei den Fluththoren findet die Berührung zwischen der Wendensche und dem Thorflügel in einer Cylinderfläche statt, deren Achse mit der Wendensäulenachse zusammenfällt. Infolge dessen muß die Stemmkraft durch den Mittelpunkt der Wendensäule gehen und trifft den oberen Riegel, wie aus der Text-Abb. 186 ersichtlich ist, in einem Punkt, der von der durch den Mittelpunkt der Wendensäule gleichlaufend zum Drempele gelegten Linie einen Abstand von 14,2 cm hat.

Der Querschnitt des oberen Riegels in der Thormitte ist in der Text-Abb. 187 dargestellt. Infolge der Anordnung von fünf Gurtplatten auf der dem höheren Wasserstande zugekehrten Riegelseite gegenüber nur einer Platte an der anderen Gurtung liegt der Schwerpunkt des Riegel-

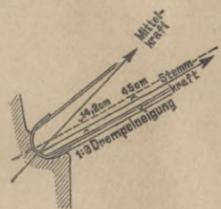


Abb. 186. Kraftübertragung am Stemmdrucklager des oberen Riegels.

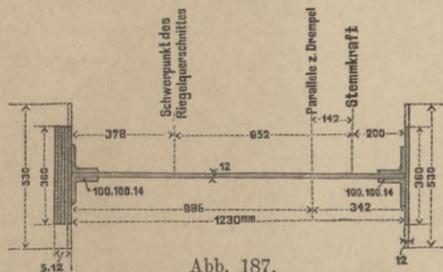


Abb. 187. Querschnitt des oberen Riegels der Ebbethore im mittleren Theil der Thorflügel. 1:25.

querschnittes erheblich auferhalb der Mitte des Stehbleches und dadurch wird der Hebelsarm der Stemmkraft bis auf 65,2 cm gebracht. Das von dem Wasserdruck hervorgerufene Biegemoment ist in der Riegelmitte gleich rund

26426000 kg-cm, das Biegemoment der Stemmkraft ist gleich 14738000 kg-cm, das resultirende Moment beträgt demnach nur noch  $26426000 - 14738000 = 11658000$  kg-cm, also weniger als die Hälfte des durch den Wasserdruck erzeugten Momentes.

Nach den Riegel-Enden zu nimmt das aus dem Wasserdruck entstehende Biegemoment ab, deshalb konnte auch die Zahl der Gurtplatten auf der Aufsenseite des Thores nach den Enden zu vermindert werden. Andererseits mußte der dem Drempele zugekehrte Gurt an den Thor-Enden durch Anordnung einer zweiten Gurtplatte verstärkt werden, da hier durch die Stemmkraft und durch das Moment der Stemmkraft Druckspannungen hervorgerufen werden, die den Gurt zu stark beansprucht haben würden, wenn er nicht verstärkt worden wäre. In der Nähe der Schlagsäule und der Wendensäule haben beide Riegelgurte je zwei Gurtplatten, außerdem ist hier auch das Stehblech durch je zwei zwischen die Gurtwinkel und je zwei auf die wagerechten Schenkel der Gurtwinkel gelegte Bleche verstärkt worden, wie aus den Abb. 1, 2 u. 3 auf Bl. 33 u. 34 und den Abb. 9 bis 12 daselbst, die die Anordnung im einzelnen zeigen, ersichtlich ist. In dem mittleren Theil der Riegellänge hat das Stehblech besondere Aussteifungen nicht erhalten, weil es durch die Anschlußwinkel der Ständer in genügendem Mafse ausgesteift ist. Die unmittelbare Belastung des Stehbleches durch das Gewicht der bei hohen Wasserständen auf ihm ruhenden Wassermenge ist bei gewöhnlichem Thorbetriebe gleich Null, da das Thor-Innere ebenso wie bei den Fluththoren mit Ausnahme der später zu beschreibenden Luftkammer mit Wasser gefüllt ist. Sollte aber wegen Instandsetzungsarbeiten eine theilweise Entleerung des Thor-Inneren stattgefunden haben, und während dieser Zeit in der Elbe eine Sturmfluth eintreten, deren Wasserstand die Höhe +25,50 erreicht, dann würde nach den angestellten Berechnungen die Beanspruchung des Stehbleches doch nur 1243 kg-qcm erreichen und auch das nur, wenn die äußeren Fluththore aus irgend einem Grunde nicht geschlossen werden können, sodafs der Wasserspiegel in der Schleuse mit der Sturmfluthhöhe übereinstimmt. Bei einem Wasserstande von +22,50, wie er beim Schleusenbetriebe vorkommen kann, beträgt die Beanspruchung des Stehbleches nur 565 kg statt der bei den Berechnungen der Thortheile zugelassenen 900 kg.

Die Wendensäule (Text-Abb. 188) ist aus drei Blechen und einem lothrechten, als Blechträger ausgebildeten Ständer zusammengesetzt. Die Bleche sind 12 mm stark, das gekrümmte Blech ist nach einem äußeren Halbmesser von 410 mm gebogen, der Krümmungsmittelpunkt fällt mit dem Mittelpunkt der Wendensche zusammen. Unter einander sind die Bleche mittels doppelter Nietreihen verbunden.

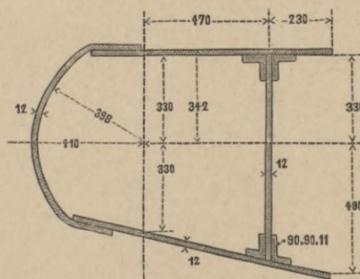


Abb. 188. Querschnitt der Wendensäule. 1:25.

Die untersten Gurtbleche des oberen Riegels stoßen stumpf gegen die beiden ebenen Bleche, während die zweiten Gurtbleche über die Stöße hinweg bis an das gekrümmte Seitenblech herangeführt sind. Bei dem untersten Riegel stoßen die Gurtplatten stumpf gegen die ebenen Bleche der Wendensäule. Im Inneren der Säule laufen gebogene Winkeleisen von 75 · 75 · 10 mm Stärke von dem Ständer an den Blechen entlang bis wiederum zum Ständer. Diese Winkeleisen haben im unteren Theil des

Thores 50 cm, im oberen Theil 55 cm Entfernung von einander. Sie sind an dem Uebergang von den ebenen Platten zu der gebogenen Platte durch 10 mm starke, mit ihnen vernietete Bleche ausgesteift und durch eben so starke Anschlussbleche mit den wagerechten Versteifungswinkeln des Ständers verbunden. Etwa 800 mm unter dem oberen Riegel und ebenso weit über dem unteren Riegel haben die drei Bleche der Wendesäule je einen gemeinsamen Stofs, während der Ständer von dem oberen bis zu dem unteren Riegel ungestoßen durchgeht. Der Theil der Wendesäule zwischen diesen beiden Stößen kam einschliesslich der überragenden Enden des Ständers in einem Stück vollständig fertig vernietet auf die Baustelle. Die über dem oberen Stofs liegenden Theile der drei Bleche waren mit dem oberen Riegel, die unter dem unteren Stofs liegenden Theile derselben mit dem unteren Riegel zusammen im Werk vernietet worden, sodass sich die auf der Baustelle an der Wendesäule ausgeführte Nietarbeit auf die Stöße der drei Platten und die Verbindung der überstehenden Theile des Ständers mit den ebenen Platten und den wagerechten Winkeln an den Riegeln beschränkte.

Sämtliche Ständer, einschliesslich des zur Wendesäule gehörigen und des die Schlagsäule bildenden Ständers, sind als Blechträger ausgebildet. Die im mittleren Theil der Thorflügel liegenden Ständer haben 10 mm starke Stehbleche und aus Winkeln von 90·90·9 mm und Deckplatten von 300 mm Breite und 12 mm Stärke gebildete Gurtungen erhalten (Text-Abb. 189). Die beiden, den Einsteigeschacht begrenzenden Ständer sind jedoch im Stehblech 13 mm stark. Die Ständer zwischen den abgeschragten Theilen der Riegel haben 330 mm breite Gurtplatten erhalten. Der Querschnitt der Schlagsäule ist in der Text-Abb. 190 dargestellt. Mit

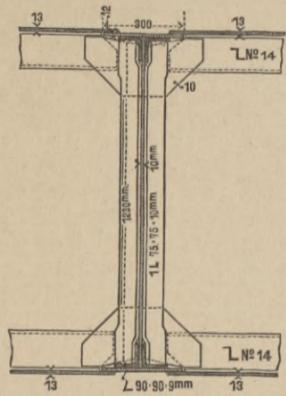


Abb. 189. Wagerechter Schnitt durch einen mittleren Ständer. 1 : 25.

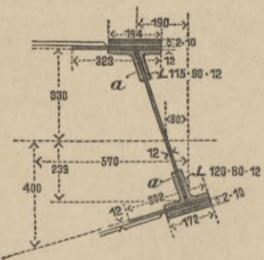


Abb. 190. Querschnitt der Schlagsäule. 1 : 25.

zur Unterkante des Riegels durch. Die beiden Winkel  $\alpha$  sind über die Gurtwinkel auf der Oberseite des Riegels hinweg gekröpft und endigen dann. Die Verbindung der Stehbleche des Riegels und der Schlagsäule wird durch zwei wagerechte Winkeleisen, die mit beiden Blechen vernietet sind, bewirkt. Die Abb. 5 u. 6 Bl. 33 u. 34 geben hierüber Aufschluß.

Die Blechbekleidung des Thores ist auf beiden Seiten gleich stark. Sie besteht aus einzelnen Blechtafeln mit lothrechter Längserstreckung, die an den Langseiten mittels einreihiger Vernietung an die Gurtplatten der Ständer angeschlossen sind; nur an der Wendesäule und an der Schlagsäule ist die Befestigung mit zwei Nietreihen bewirkt. Die Bleche sind einmal gestoßen, sie haben im unteren Theil der Thore 13 mm, im oberen 11 mm Stärke. Zur Aussteifung der Thorhaut dienen L-Eisen, die durch Anschlussbleche mit an der Blechwand der Ständer angebrachten wagerechten Winkeleisen verbunden sind. (Text-Abb. 189.) Die acht unteren L-Eisen haben 500 mm Abstand von einander und 16 cm Höhe, die oberen L-Eisen 550 mm Abstand und 14 cm Höhe. Die Stärke der Blechhaut ist in derselben Weise berechnet worden wie bei den Fluththoren. Die Spur- und Halslager stimmen mit denen an den Fluththoren derart überein, dass sich ein weiteres Eingehen auf diese Theile erübrigt. Der Stemmdruck wird auf die Wendesäule durch einen an der Wendesäule in Höhe des oberen Riegels angebrachten Stahlkörper übertragen. Derselbe ist in den Abb. 1, 9 u. 10 Bl. 33 u. 34 dargestellt und so bemessen, dass die Pressung des Granits der Nische 60 kg/qcm beträgt. In Höhe des unteren Riegels ist ein ähnlicher Körper angebracht, dessen Bestimmung bereits oben ange-

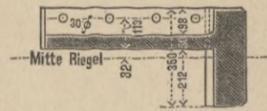


Abb. 191. Schnitt a b.

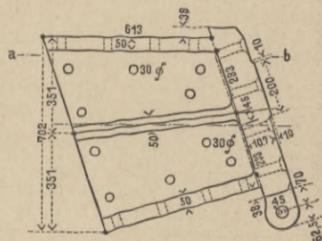


Abb. 192. Oberansicht.

Stemmlager an der Schlagsäule. 1 : 25.

geben ist. An der Schlagsäule und dem oberen Riegel ist der in den Text-Abb. 191 und 192 dargestellte Stemmdruckkörper angebracht. Er besteht aus Stahl und legt sich mit seinen sorgfältig behobelten Flächen gegen die ebenfalls sauber abgefrästen Flächen des verstärkten Riegelstehbleches. An diesem Körper befindet sich auch ein Auge für den Anschluss der Schutzkette, die bei den Ebethoren ebenso vorhanden ist, wie bei den Fluththoren.

In der Höhenlage + 14,487 für Brunsbüttel und dementsprechend + 14,887 für Holtenau ist zwischen die Thorhaut und die Ständer eine aus gekämpelten Blechen gebildete wasserdichte Trennungswand eingebaut. Diese Wand ist zwischen zwei Ständern mit einer grossen Durchbrechung versehen, und der von diesen Ständern und den zugehörigen Blechen der Thorhaut eingeschlossene Raum dient als Einsteigeschacht. Der unterhalb der Zwischenwand von dem Einsteigeschacht nach der Schlagsäule zu gelegene Theil des Thor-Innern soll während des gewöhnlichen Thorbetriebes mit Luft gefüllt sein, und als Luftkammer genau in derselben Weise wirken, wie es oben bei den Fluththoren eingehend erläutert worden ist. Die übrigen, ausserhalb des Einsteigeschachtes gelegenen Räume des Thor-Innern werden dagegen auch bei den Ebethoren bis zur Höhe des hinter dem geschlossenen Ebethor jeweilig vorhandenen Wasserstandes mit Wasser gefüllt sein. Die wagerechte Zwischenwand ist in derselben Weise wie der untere Riegel gegen den auf sie wirkenden Wasserdruck ausgesteift. Die Stehbleche der beiden den Einsteigeschacht begrenzenden Ständer können denselben Wasserdruck erhalten wie die Hautbleche und sind gegen ihn in gleicher Weise wie diese gesichert. In jedem Ständer sind in einiger Höhe über dem unteren Riegel und der wagerechten Zwischenwand Mannlöcher angeordnet. Die vom Einsteigeschacht nach den vier, durch den Schacht und

die wasserdichte Zwischenwand gebildeten Abtheilungen des Thor-Innern führenden Mannlöcher können durch Deckel geschlossen werden, die genau so eingerichtet sind wie bei den Fluththoren, die übrigen haben jedoch keine Deckel erhalten.

Im Einsteigeschacht, der durch eine von oben bis zum unteren Riegel durchgehende Steigeleiter zugänglich gemacht ist, sind die Vorrichtungen zum Füllen und Entleeren der vier Abtheilungen des Thor-Innern untergebracht. Zum Füllen der oberhalb der wagerechten Zwischenwand links bzw. rechts vom Schacht gelegenen beiden Kammern dient je ein gekrümmtes Rohr, das einerseits an dem an dieser Stelle der Lichtweite des Rohres entsprechend durchbohrten Stehblech des den Einsteigeschacht begrenzenden Ständers und andererseits an der ebenfalls durchbohrten, hinteren Thorhaut befestigt ist. Die Rohre haben 120 mm lichten Durchmesser erhalten und können durch eingebaute Schieberventile abgesperrt werden. Die Wasserkammer unterhalb der wagerechten Zwischenwand und ebenso die Luftkammer können nur mittelbar mit Wasser gefüllt werden. Für das Füllen der Wasserkammer ist in der Zwischenwand ein Kegelventil angeordnet, das mittels eines bis über den oberen Riegel reichenden Gestänges geschlossen und geöffnet werden kann. Zum Füllen der Luftkammer ist zwischen die Rohrleitungen, die zum Entleeren der Luftkammer und der über ihr liegenden Wasserkammer dienen, ein gewöhnlich durch einen Hahn verschlossenes Verbindungsrohr eingelegt. Sobald der Hahn geöffnet wird, tritt das Wasser aus der Wasserkammer in die Luftkammer über. Zum Entleeren des Thor-Innern ist in dem Einsteigeschacht ein genau ebenso wie bei den Fluththoren angeordneter Wasserheber aufgestellt. Die Abb. 1 Bl. 33 u. 34 zeigt denselben einschließlic aller Rohrleitungen. Die Saugleitung des Wasserhebers gabelt sich dicht unterhalb des Pumpenkörpers in vier Zweige, die nach dem Pumpensumpf des Einsteigeschachtes, nach dem Boden der unteren Wasserkammer, nach dem Boden der Luftkammer und viertens nach dem Boden der oberen Wasserkammer zwischen Einsteigeschacht und Schlagsäule führen. Die obere, zwischen der Wendensäule und dem Einsteigeschacht liegende Wasserkammer hat also keinen Anschluß an den Wasserheber erhalten. Dicht vor dem Körper, in dem sich die vier Zweigleitungen vereinigen, ist in jede einzelne dieser Leitungen ein Hahn eingebaut. Die Ausgußleitung mündet oberhalb des oberen Riegels auf der Rückseite des Thores aus, die Zuführung des Druckwassers zu den Thoren ist genau so ausgebildet wie bei den Fluththoren. Der untere Riegel und die wagerechte Zwischenwand sind mit einer Betonschicht abgedeckt, deren Oberfläche Gefälle nach dem zugehörigen Pumpensumpf und dem Abflußrohr hat. Das Abströmen der Luft beim Anfüllen der Kammern mit Wasser, sowie das Einströmen derselben beim Entleeren der Kammern erfolgt für jede Kammer durch ein im lichten 60 mm weites verzinktes Eisenrohr, das an die Decke der betreffenden Kammer, also entweder die wagerechte Zwischenwand oder den oberen Riegel angeschlossen und nach der Rückseite des Thores geführt ist.

Die Lüftung der Kammern geschieht wie bei den Fluththoren mit Hilfe eines auf dem obersten Riegel aufgestellten Wasserstrahl-Ventilators. Die zugehörigen Saugleitungen sind an diejenigen Räume der vier Kammern angeschlossen, die vom Einsteigeschacht am weitesten entfernt liegen. Die Anordnung der vier Leitungen auf dem oberen Riegel und ihr Anschluß an den Ventilator ist aus der Abb. 2 Bl. 33 u. 34 zu ersehen. Um den aus dem Einsteigeschacht in die Kammern eintretenden Luftstrom zu zwingen, die Räume zwischen den Ständern in ihrer vollen Ausdehnung zu durchströmen, sind an den Mannlöchern einzelner Ständer Verschlussklappen und

möglichst nahe unter der Decke der Kammern kreisförmige Löcher in den Stehblechen dieser Ständer angebracht.

Der Anschluß der Zahnstangen an die Thorflügel hat im wesentlichen dieselbe Anordnung erhalten wie bei den Fluththoren, jedoch mußten für die oberhalb des oberen Riegels angreifenden Zahnstangen auf diesem Riegel kräftige Consolen geschaffen werden. Diese Consolen sind kastenförmig ausgebildet und in derselben Anordnung auch über dem Einsteigeschacht hergestellt worden. Sie bestehen aus lothrechten, an die unterste Platte des Zuggurtes und des Druckgurtes des oberen Riegels angeschlossenen Blechen, aus zu diesen senkrecht und zwar genau in der Verlängerung der in Frage stehenden Ständer liegenden Blechen und einem wagerechten Deckblech. Die Bleche sind unter sich und mit dem Thor durch Winkeleisen verbunden. Derjenige Theil des so gebildeten Kastens, der über dem Einsteigeschacht liegt, ist wasserdicht hergestellt, sodaß er die Fortsetzung dieses Schachtes bildet und damit den Schacht auch bei Wasserständen zugänglich macht, bei denen der obere Riegel überfluthet ist. Um den auf den Thorflügeln angeordneten Steg in einer Höhe auch über den Kasten hinweg führen zu können, ist auf der Rückseite der Thorflügel das dortige senkrechte Blech des Kastens einerseits bis zur Wendensäule und andererseits bis zur Schlagsäule durchgeführt und mit einem wagerechten Winkeleisen gesäumt worden. Auf der Vorderseite des Thores bestehen die Unterstützungen des Steges aus Winkeleisen, die bei jedem Ständer angeordnet und mittels Anschlußblechen an die unterste Gurtplatte des oberen Riegels angeschlossen sind. Diese Winkeleisen sind bis über den Bohlenbelag des Steges hinausgeführt und bilden die Pfosten des Thorgeländers. Auf der Rückseite des Thores sind gleiche Winkel an die oben erwähnte Blechwand angeietet. Der Bohlenbelag des Steges besteht aus eichenen Querhölzern von 6,5 cm Stärke und eben solchen Längsbohlen von 4,5 cm Stärke. An den Geländerpfosten sind zu beiden Seiten des Steges Stofsbretter angebracht. Die Handleisten des Geländers bestehen aus schmiedeeisernen Siederohren.

Die Oberkante des Steges liegt in Holtenau auf der Höhe + 21,34, während sowohl das Aufsenhaupt wie das Binnenhaupt auf der Höhe + 23,77 liegt. Die Thornischen sind in Holtenau mit einer später zu beschreibenden, 22 cm hohen Abdeckung versehen, deren Vorderkante in der Flucht der Schleusenmauern liegt. Zur Ueberwindung des Höhenunterschiedes zwischen dem Thorsteg und den Häuptern dient eine im Verhältniß 6:5 geneigte, über der Wendensäule jedes Thorflügels aufgestellte Treppe, wie aus der Abb. 1 Bl. 33 u. 34 zu ersehen ist. Die Treppe hat einen ziemlich großen Absatz, der bei geöffnetem Thor unter der Nischenabdeckung Platz findet. Die Oberkante des Treppenabsatzes liegt auf der Höhe + 23,37; der Höhenunterschied zwischen dem Absatz und der Nischenabdeckung beträgt daher 40 cm. Da diese Höhe nicht gut durch eine einzige Steigung bewältigt werden kann, so liegt auf dem Absatz noch eine 15 cm hohe, leicht wegnehmbare Holzstufe. In dieser Holzstufe besteht der einzige Unterschied zwischen den Ebbethoren der beiden Schleusen in Holtenau und Brunsbüttel. In Brunsbüttel liegt der Treppenabsatz auf der Höhe + 22,97, während das Schleusenmauerwerk auf + 23,0 liegt. Auch hier ist eine Nischenabdeckung hergestellt worden, dieselbe erstreckt sich aber nicht über die ganze Thornische, sondern reicht nur bis zu einer Entfernung von 1,95 m vom Wendenischen-Mittelpunkte. Von da ab ist die übrig bleibende Nischenfläche mit einer Riffelplatte abgedeckt, die theils auf die Nischenabdeckung, theils auf ein in das Schleusenmauerwerk eingelassenes Winkeleisen aufgeschraubt ist. Unter

diese Riffelplatte legt sich der Treppenabsatz mit einem Spielraum von etwa 2 cm.

Stemmlisten sind an den Ebbethoren nicht vorhanden, dagegen befindet sich an dem unteren Riegel, sowie an der Schlag- und Wendesäule je eine Dichtungsleiste. Zwischen den Leisten an den Schlagsäulen zweier zusammengehörigen Thorflügel ist ein nach unten zu sich bis auf 1 cm erweiternder keilförmiger Spalt gelassen, damit ein Stemmen zwischen den beiden Leisten vermieden wird. Durch diesen Spalt spritzt allerdings etwas Wasser, wenn die Thore unter einseitigem Wasserüberdruck geschlossen sind, hiergegen lagen aber unter den obwaltenden Umständen keinerlei Bedenken vor. Auf der Vorderseite des unteren Riegels und an beiden Gurtungen des oberen Riegels sind außerdem eichene Schutzleisten angebracht. Die Leisten auf der Vorderseite des Thores dienen zur Begrenzung der Bewegung beim Einfahren der Thorflügel in die Nischen, sie erstrecken sich nur über den mittleren Theil des Thores. Die Leiste auf der Rückseite geht von der Wendesäule bis zur Schlagsäule durch und ist so stark gewählt, daß ihre Außenfläche in der Flucht der Schleusenmauern liegt, wenn die Thorflügel in die Nischen gedreht sind.

### 3. Die Sperrthore der Schleusen in Brunsbüttel und Holtenuau.

(Hierzu die Abbildungen auf Bl. 35 und 36.)

Wie bereits im Eingang zu diesem Abschnitt gesagt worden ist, sollen die Sperrthore es ermöglichen, daß trotz einer in den geöffneten Schleusen herrschenden Strömung zum Schleusen mit den Fluth- oder Ebbethoren übergegangen werden kann. Diese Thore können in der Strömung nicht geschlossen werden, weil die dabei auf sie einwirkenden Kräfte so groß werden würden, daß selbst bei Anwendung ganz ungewöhnlich starker und für den regelmäßigen Schleusenbetrieb viel zu schwerer Bewegungsvorrichtungen die Betriebssicherheit der Thore in hohem Grade gefährdet sein würde. Um die Fluth- und Ebbethore ohne Gefahr schliessen zu können, muß daher zunächst die Strömung in der Schleuse aufgehoben werden, und diesem Zweck dienen die Sperrthore. Sie haben nur diese eine Aufgabe zu erfüllen und konnten deshalb in allen ihren Theilen dieser Aufgabe entsprechend eingerichtet werden.

Ueber die Kräfte, welche beim Schliessen von Thoren mit einer oder gegen eine Strömung auf die Thore einwirken, und über die Veränderungen des Wasserstandes, die durch die Absperrung des Durchströmungsquerschnittes in dessen Nähe hervorgerufen werden, lagen bei Beginn der Entwurfsarbeiten für die Schleusen in Brunsbüttel und Holtenuau keine Erfahrungen vor. Deshalb wurden Versuche

mit den Ebbethoren der an der Elbe gelegenen Ausflussschleuse des bereits mehrfach erwähnten Bütteler Canals angestellt. Diese Versuche, die in den Jahren 1887 und 88 ausgeführt und rechnerisch durchgearbeitet wurden, zeitigten zwar unmittelbar verwertbare Ergebnisse nicht, sie lieferten jedoch vielfach werthvolle Aufklärungen über die in solchen Fällen auftretenden Verhältnisse. Für die Anordnung der Sperrthore und ihrer Bewegungsvorrichtungen wurden besonders zwei der bei den Versuchen gesammelten Erfahrungen benutzt, nämlich:

1. Je schneller eine Durchströmungsöffnung vollständig abgesperrt wird, desto höher läuft das auf den Verschluss zufließende Wasser vermöge der ihm innewohnenden lebendigen Kraft an dem Verschluss auf, und zwar erreicht es

dabei eine Höhe, die erheblich größer ist als diejenige, die dem durch die Absperrung verursachten ruhigen Anwachsen entspricht. Vor dem Verschluss bildet sich eine Art stehender Welle, die sich nach rückwärts fortpflanzt und erst nach einiger Zeit durch den allmählich erfolgenden Wasserzufluss verschwindet. Hinter dem Verschluss tritt zugleich eine Senkung des Wasserstandes ein, die eine Folge davon ist, daß das Wasser hier auch nach dem Abschluss der Durchströmungsöffnung noch weiter fließt. Auf die Bewegungsvorrichtungen des Verschlusses wird schon kurz nach dem Beginn der Verminderung des Durchströmungsquerschnittes eine erhebliche Kraft ausgeübt, die dann stetig, anfangs langsamer,

gegen Ende rascher zunimmt und im Augenblick des vollständigen Abschlusses ihren Höchstwerth erreicht.

2. Erfolgt die Absperrung eines Durchströmungsquerschnittes nicht vollständig, weil in dem Verschluss Oeffnungen sind, die einem Theil des Wassers den Durchgang auch während des Schliessens gestatten, dann wirken auf die Bewegungsvorrichtungen ganz erheblich geringere Kräfte ein.

Auf Grund dieser Erfahrungen wurden die Sperrthore, wie die nach einer photographischen Aufnahme der Holtenuauer Schleuse hergestellte Text-Abb. 193 zeigt, mit möglichst großen Schützöffnungen versehen, die während des Schliessens der Thore frei sind und erst dann, wenn die Thore bereits am Dremmel liegen, durch Schützen geschlossen werden, die während der Bewegung der Thore hinter dem unteren vollwandigen Theile derselben liegen und nach dem Schliessen der Thore durch Maschinenkraft mit Hilfe von Ketten in die Höhe gezogen werden.

Für die Bestimmung der Lage der Schützöffnungen in der Thorfläche waren die folgenden Erwägungen maßgebend. Das durch die Schleusen strömende Wasser übt auf die

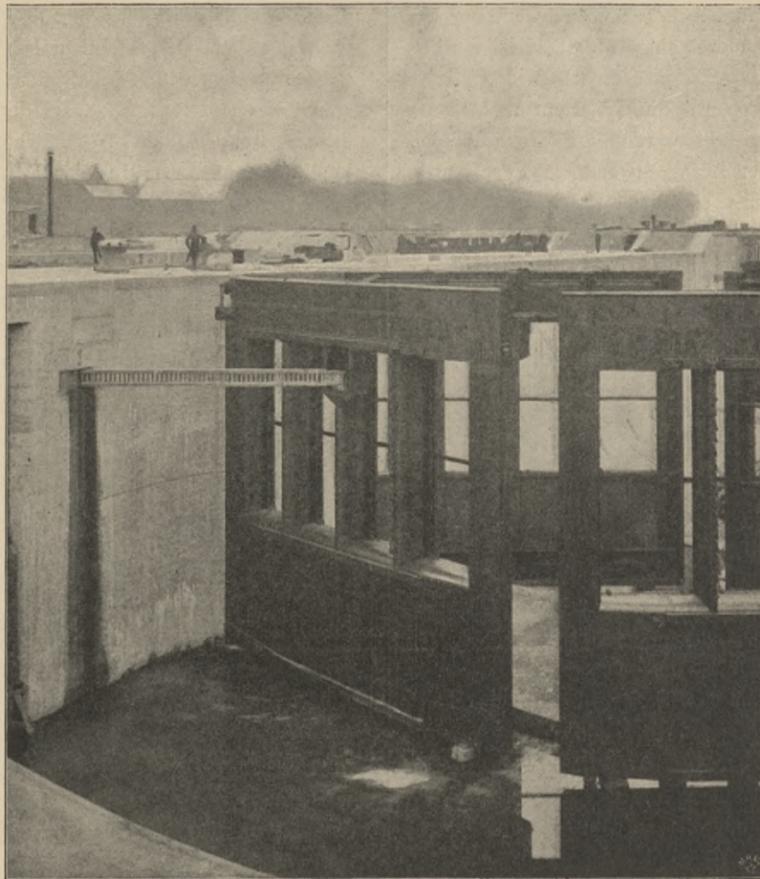


Abb. 193. Sperrthore der Schleusen in Holtenuau.

Thore während ihrer Bewegung einen Stofsdruck aus, der mit der zunehmenden Geschwindigkeit des Wassers zunimmt und mit der zunehmenden Geschwindigkeit des Thores abnimmt. Setzt man im ganzen Schleusenquerschnitt überall die gleiche Wassergeschwindigkeit voraus, dann wird der Stofsdruck nahe der Wendesäule am grössten, weil sich hier das Thor am langsamsten bewegt, und nimmt nach der Schlagsäule zu immer mehr ab. Der auf das Thor ausgeübte Stofsdruck würde also — abgesehen von dem Moment des Stofsdruckes — bei einer bestimmten Wassergeschwindigkeit und einer bestimmten Winkelgeschwindigkeit des Thores am kleinsten werden, wenn die Schützöffnungen der Wendesäule möglichst nahe, also nach der Text-Abb. 194 angeordnet werden. Nun ist aber die Wassergeschwindigkeit in dem Schleusenquerschnitt keineswegs überall gleich, vielmehr ist sie in der Mitte der Schleuse etwas unter der Oberfläche am grössten und nimmt sowohl nach dem Kammerboden, als auch nach den Schleusenwänden zu ab. Die Rücksicht auf die Wassergeschwindigkeit allein würde also eine Anordnung der Schützen nach der Text-Abb. 195 erfordern, während bei gleichzeitiger Berücksichtigung der Wasser- und der Thorgeschwindigkeit eine Vertheilung der Schützöffnungen nach Maßgabe der Text-Abb. 196 vortheilhaft erscheinen würde. Diese letztere Anordnung bietet schon für die Ausführung schwer zu überwindende Unbequemlichkeiten, ausserdem durfte aber nicht aufser Acht gelassen werden, dass die Wassergeschwindigkeit verhältnissmässig gross ist und, wie bereits auf Seite 17, Abtheilung 1 dieser Denkschrift unter Fall 3 angegeben ist, nach den Berechnungen bis auf annähernd 1 m ansteigt, während die Winkelgeschwindigkeit des Thores, besonders kurz vor dem Anschlagen an den Drempe, nur klein sein darf. Es musste also bei der Anordnung der Schützöffnungen allein der Grösse des Stofsdruckes wegen mehr auf die Wassergeschwindigkeit als auf die Thorgeschwindigkeit Rücksicht genommen werden. Da aber die Beanspruchung der Bewegungsvorrichtungen nicht nur von der Grösse des Stofsdruckes, sondern vielmehr von dem Moment dieses Druckes abhängig ist und dieses desto grösser wird, je weiter die geschlossene Thorfläche von der Wendesäule entfernt ist, so verbietet dieser Umstand geradezu die Verlegung der Schützöffnungen in die Nähe der Wendesäule und lässt die Anordnung der Oeffnungen in einer der Text-Abb. 195 ähnlichen Form als zweckmässig erscheinen.

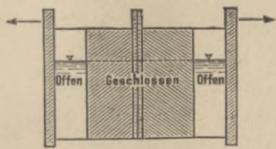


Abb. 194.

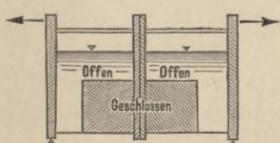


Abb. 196.

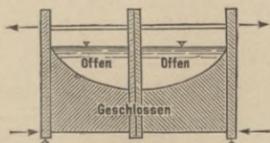


Abb. 195.



Abb. 197.

Eine weitere Frage war noch die, ob es sich empfahl, die Gesamtöffnung der Schützen etwa nach der Text-Abb. 197 in mehrere Theile zu zerlegen. Es durfte angenommen werden, dass sich bei dieser Anordnung der Stofs des Wassers vermindern würde, weil das Wasser nach verschiedenen Richtungen ausweichen kann. Andererseits aber war vorzusetzen, dass sich die Contraction in den kleineren Oeffnungen vermehren würde, und dass selbst bei gleicher Grösse der Schützenfläche

eine Verringerung der durch die Oeffnungen abfließenden Wassermenge und somit eine Vermehrung des am Thor entstehenden Aufstaus eintreten würde. Wie später nachgewiesen werden wird, ist aber der durch den Aufstau auf die Thore ausgeübte hydrostatische Druck ganz erheblich grösser als der hydraulische Stofsdruck, und deshalb musste in erster Linie dafür Sorge getragen werden, dass der hydrostatische Druck nicht unnütz vergrößert wird, ganz abgesehen davon, dass infolge der vermehrten Contraction weniger Wasser durch die Schützöffnungen abfließt, also mehr Wasser zum Stofs kommt und damit auch der hydraulische Druck eine Vermehrung erfährt. Ausserdem sprechen aber auch noch Bedenken wegen der Beanspruchung und der Dichthaltung der Thore gegen die Theilung der Schützöffnungen in eine Anzahl wagerechter Streifen. Bei dem niedrigsten Wasserstande, der in Brunsbüttel die Höhenlage + 16,61 hat, würde ein erheblicher Theil der zwischen den Schützöffnungen befindlichen Schwimmkasten über dem Wasserspiegel liegen, damit ihren Auftrieb einbüßen und einen erheblichen Wechsel in der Beanspruchung der einzelnen Thorthteile herbeiführen. Diese wechselnden Beanspruchungen würden aber besonders auf die Dichtigkeit der Schwimmkasten von sehr ungünstigem Einfluss sein.

Alle diese Erwägungen führten dazu, den Sperrthoren die aus der photographischen Aufnahme (Text-Abb. 193) ersichtliche und in der Text-Abb. 198 dargestellte Form zu geben, bei der sämtliche Schützöffnungen über einem einheitlichen Schwimmkasten zu einer Oeffnung vereinigt sind,

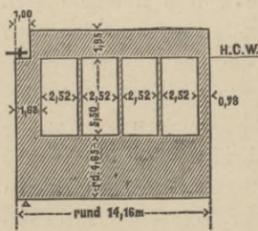


Abb. 198. Gruppe der Sperrthore.

die nur durch die auch zur Führung und Unterstützung der Schütztafeln dienenden lothrechten Ständer getheilt ist. Da die Schützen zum Verschliessen dieser Oeffnungen nach oben gezogen werden, so ist ein Einklemmen von Eischollen oder sonstigen treibenden Gegenständen vollständig ausgeschlossen, weil diese von dem oberen Schützenrande in die Höhe genommen werden, sodass sie von selbst abgleiten. Ein fernerer Vortheil dieser Anordnung besteht darin, dass sich der Auftrieb mit dem wachsenden Wasserstande nur unerheblich ändert, weil dabei aufser den Ständern nur eine etwas grössere Länge der Wende- und Schlagsäule eingetaucht wird, während der untere, ebenso wie die Säulen mit Luft gefüllte Schwimmkasten stets unter Wasser liegt, und der obere, über dem oberen Riegel gelegene Kasten sich je nach dem äusseren Wasserstande mit Wasser füllt oder entleert. Dieser obere Kasten dient als Schwimmkasten nur dann, wenn ein Thorfügel ausgewechselt und nach der Werkstatt geschafft wird. Der Eintritt des Wassers in den oberen Kasten erfolgt durch die Oeffnungen, die für den Durchgang der Ketten, mit denen die Schützen gehoben und gesenkt werden, in dem Stehblech des oberen Riegels und der einen Blechwand des Kastens angeordnet sind. Diese Oeffnungen sind mit Rothgulseinfassungen versehen, auf die ein Verschlussdeckel aufgeschraubt werden kann.

Das geschlossene Thor bildet, wenn die Schützöffnungen frei sind, ein unvollständiges Wehr, bei dem oben gar keine Contraction stattfindet. Um diese auch unten und an den Seiten soweit wie möglich zu vermindern, ist die obere Begrenzungsfläche des unteren Schwimmkastens entsprechend abgerundet, und die Ständer haben eine Holzverkleidung erhalten, durch die sie Brückenpfeilern mit spitzen Vorköpfen ähnlich geworden sind. Die Spitzen der Vorköpfe sind zum besseren Schutz gegen Eis mit Eisenblech bekleidet. Infolge

dieser Anordnungen konnte der Contractions-Festwerth bei der Berechnung der durch die Schützöffnungen abfließenden Wassermengen größer angenommen werden, als sonst zulässig gewesen wäre.

Das Gerippe der Sperrthore ist in ähnlicher Weise wie das der Ebbethore gebildet. Es besteht aus dem oberen Riegel, der Wendesäule, der Schlagsäule, drei lothrechten Ständern und dem unteren Riegel, der auch hier nur die Uebertragung der Kräfte von den Säulen und Ständern auf den Drempeel vermittelt. Die Thore für Brunsbüttel und Holtenau sind fast vollständig gleich, der einzige Unterschied besteht darin, daß auf dem oben auf den Thorflügeln befindlichen Laufstege in Brunsbüttel über der Wendesäule noch eine Treppe von vier Stufen angebracht ist, die zur Ueberwindung des Höhenunterschiedes zwischen dem Laufstege und dem Schleusenmauerwerk bzw. der Abdeckung der Thornische dient. In Holtenau liegen die Oberkanten des Laufsteiges und des Schleusenmauerwerks in gleicher Höhe; zur Ueberdeckung des Raumes zwischen dem Ende des Laufsteiges und dem Schleusenmauerwerk ist auf den Bohlenbelag des ersteren eine kräftige Riffelblechplatte aufgeschraubt, die bis auf die Abdeckplatten der Schleuse hinüberreicht und über diese während der Bewegung der Thore hinschleift. Der obere Riegel liegt mit seiner Mitte in Brunsbüttel auf der Höhe + 19,99 und dementsprechend in Holtenau auf + 20,39, sodaß die Schützöffnungen auch bei dem höchsten Wasserstande, bei dem die Sperrthore in Benutzung kommen, das ist der Wasserstand von + 20,27 in Holtenau, nach oben hin noch eben frei sind. Sie können infolge dessen durch treibendes Eis nicht leicht versetzt werden. Eine noch höhere Lage des oberen Riegels, die aus diesem Grunde wohl erwünscht gewesen wäre, konnte nicht erreicht werden, weil der Fußboden der im Schleusenmauerwerk ausgesparten Kammern, in denen die Kraftmaschinen und die Antriebsvorrichtungen für die Sperrthore aufgestellt sind, in Holtenau auf der Höhe + 20,07 liegt, sodaß die Mitte des oberen Riegels und somit des an ihm angebrachten Stemmdrucklagers bereits bei der gewählten Höhenlage über der Fußbodenoberkante liegt.

Bei der Wahl des Querschnittes des oberen Riegels waren dieselben Erwägungen maßgebend wie bei den Ebbethoren, und dementsprechend wurde auch hier der Querschnitt unsymmetrisch gemacht. Die Text-Abb. 199 zeigt

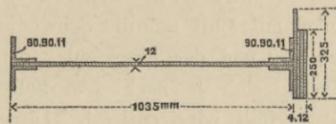


Abb. 199. Querschnitt des oberen Riegels der Sperrthore in der Thornmitte.  
1 : 25.

den Riegelquerschnitt in der Thornmitte. Der mit den Deckplatten versehene Gurt befindet sich auf der Thorseite, die bei der Benutzung des Thores dem höheren Wasserstande zugekehrt ist. Die Abmessungen des oberen Riegels und ebenso die der übrigen Theile des Thorgerippes sind unter der Annahme berechnet, daß vor und hinter dem Thor Wasserstandsunterschiede von 1,4 m auftreten können. Da dieser Wasserstandsunterschied nur durch das Abfallen der Ebbe auf der Rückseite des Thores und das gleichzeitige Ansteigen des Canalwasserstandes auf der Vorderseite des Thores entsteht, so erscheint die Annahme von 1,4 m hoch. Ein solcher Wasserstandsunterschied wird auch unter gewöhnlichen Verhältnissen nie eintreten; es kann jedoch besonders in Brunsbüttel vorkommen, daß sich das Schließen der Ebbethore aus irgend welchen Gründen etwas verzögert, und dann würden die Sperrthore einen höheren Wasserdruck aufzunehmen haben, als unter gewöhnlichen Verhältnissen. Sie sollten auch in einem solchen Falle noch genügende

Sicherheit bieten, selbst wenn die Ebbe ungewöhnlich schnell abfällt.

Die Wendesäule und ebenso die an ihr in Höhe des oberen und unteren Riegels befestigten Stemmdrucklager haben im wesentlichen dieselbe Anordnung erhalten wie bei den Ebbethoren. Da der zu der Wendesäule gehörige Ständer aber ebenso wie die übrigen Ständer als Stütze der Schützen dient, mußte er ganz an das der Thornmitte zugekehrte Ende der Säule gerückt werden. Die Schlagsäule hat einen kastenartigen Querschnitt erhalten, der aus den Abb. 2, 4, 5 und 6 Bl. 35 u. 36 zu ersehen ist. Auch bei ihr dient der der Thornmitte zugekehrte Ständer zur Führung und Unterstützung der Schützen und ist deshalb auf dieser Seite ebenso ausgebildet wie die sogleich zu besprechenden Mittelständer. Die

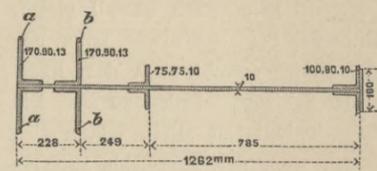


Abb. 200. Querschnitt der Mittelständer.  
1 : 25.

vier Wände des Kastens bestehen durchweg aus zwei Blechen und sind unter einander durch wagerechte Bleche und Winkel abgesteift. Sämtliche Versteifungsbleche haben einen großen kreisförmigen Ausschnitt, durch den eine Leiter zum Besteigen der Schlagsäule führt. Der Zugang zur Schlagsäule findet vom Inneren des oberen Schwimmkastens aus durch eine mit einem dichten Deckel verschließbare Einsteigeöffnung statt. Die drei Mittelständer haben den in der Text-Abb. 200 dargestellten Querschnitt erhalten. Der mit der Deckplatte versehene Gurt befindet sich auf der Thorseite, die bei der Benutzung der Thore dem höheren Wasserstande zugekehrt ist. Auf den breiten Schenkeln der  $170 \times 90 \times 13$  mm großen Winkeleisen laufen die Rollen der Schütztafeln.

Die Höhe der Schützöffnung ist so groß, daß eine einzige Schütztafel nicht hinter dem unteren Schwimmkasten Platz gefunden haben würde. Infolge dessen sind zum Verschluss der Oeffnung zwei Schütztafeln angeordnet, die zusammen die Höhe der Oeffnung haben und in ihrer unteren Stellung hintereinander stehend auf je zwei an dem unteren Schwimmkasten angebrachten Consolen aufrufen (vgl. dazu Abb. 10 Bl. 35 u. 36). Beim Heben der Schützen bewegt sich zunächst nur die eine der beiden Tafeln, und zwar die der Rückseite des Thores zunächst liegende. Erst wenn diese Tafel etwa um die Hälfte ihres Weges gehoben ist, greift ein an ihrer Unterfläche angebrachtes überstehendes Flacheisen unter ein gleiches an der oberen schmalen Fläche der vorderen Schütztafel befestigtes Flacheisen und nimmt nunmehr auch diese Tafel mit. Beim Senken der Schützen bewegen sich anfänglich beide Schützen. Das vordere Schütz wird dabei nur durch den Ueberschuss seines Gewichtes über den Auftrieb bewegt, während das hintere Schütz auch von den zu seiner Bewegungsvorrichtung gehörigen Ketten herabgezogen wird. Sollte aus irgend einem Grunde das Gewicht des vorderen Schützes nicht genügen, um es zum Herabsinken zu bringen, so bleibt es während des Niedergehens des hinteren Schützes so lange in seiner oberen Stellung, bis das bereits erwähnte, an der Unterfläche des hinteren Schützes angebrachte Flacheisen gegen ein an der Unterfläche der vorderen Schütztafel angebrachtes Flacheisen drückt und dadurch das Schütz zum Niedergehen zwingt. Dem Wege, den die Schütztafeln zurückzulegen haben, entsprechend erstrecken sich die in der Text-Abb. 200 mit *a* bezeichneten Winkeleisen über die ganze Höhe zwischen den Consolen, auf denen die Schützen in ihrer unteren Stellung ruhen, und dem den Schützenhub nach oben begrenzenden, am oberen Riegel befestigten und aus den Abb. 8 bis 10 Bl. 35 u. 36 ersichtlichen eichenen Schutzholz. Die mit *b* bezeichneten Winkeleisen reichen dagegen

nur bis etwas über die Hälfte der Höhe der freien Schützöffnung. Die Gestalt der Ständer und ihre Verbindung mit dem oberen und unteren Riegel ist am besten aus der Abb. 9 Bl. 35 u. 36 zu ersehen. In dieser sind auch die Versteifungen des Stehbleches der Ständer durch doppelseitige aufgenietete Bleche von 13 mm Stärke, sowie die Stöße des Stehbleches und die Verbindung der den unteren Schwimmkasten bildenden Bleche mit dem unteren Riegel und den Ständern dargestellt. An den mittelsten der drei Mittelständer mußte die Zahnstange zum Bewegen der Thore angeschlossen werden. Der Anschluß selbst ist in allen Einzelheiten genau so ausgebildet wie bei den Fluth- und Ebbehoren, der Kasten, an dem die Gufsstahlträger und die Lager befestigt sind, ist aus den Abb. 1, 4 und 10 Bl. 35 u. 36 und auch aus der Text-Abb. 193 zu ersehen.

Der untere Riegel besteht aus einem Blechträger, dessen 12 mm starkes Stehblech gegen den Wasserdruck durch doppelte Winkeleisen kräftig versteift ist. Die Gurtwinkel sind  $90 \times 90 \times 11$  mm stark. Deckplatten haben die Gurte des Riegels nicht erhalten, dagegen reichen die untersten Bleche der Schwimmkastenhaut über die Gurtwinkel hinweg. An dem dem Drempeel zugekehrten Gurt des Riegels ist eine aus Eichenholz bestehende Dichtungsleiste und an dem vorderen Gurt eine Schutzleiste genau in derselben Weise wie bei den Ebbehoren angebracht. An der Schlagsäule ist das Riegelstehblech durch zwei, an der Wendesäule durch vier Blechplatten verstärkt. Der ganze Riegel hat im Thor-Innern eine im Mittel 12 cm starke Abdeckung mit einer Sandbetonschicht erhalten. Diese hat Gefälle nach der Wendesäule zu, wo sich der Pumpensumpf für den auch in den Sperrthoren zur Beseitigung des Schwitz- und Sickerwassers aufgestellten Wasserheber befindet. Der Betonschlag ist auf Bl. 35 u. 36 nicht dargestellt, er ist in derselben Weise ausgeführt wie bei den Ebbe- und Fluthoren.

Der untere Schwimmkasten ist aus 11 mm starken Blechen hergestellt, nur die den oberen Abschluß bildenden, zwischen die Ständer bezw. die Ständer und die Wende- und Schlagsäule eingebauten gekrümmten Bleche haben 12 mm Stärke erhalten, um den auf sie etwa einwirkenden Stößen gegenüber widerstandsfähiger zu sein. Der unterste Theil der Blechhaut wird auf jeder Thorseite durch von der Wendesäule bis zur Schlagsäule in einer Ebene liegende, auf der Mitte jedes Ständers gestoßene Bleche mit wagerechter Längserstreckung gebildet. Auf der hinteren Thorseite reichen diese Bleche bis zu dem Punkte hinauf, wo die Breite des Schwimmkastens verringert wird, um den für die beiden Schütztafeln erforderlichen Raum zu gewinnen; auf der Vorderseite haben sie annähernd dieselbe Höhe. Die nach oben hin folgenden Bleche haben eine lothrechte Längserstreckung. Zwischen zwei Mittelständern und ebenso zwischen einem Mittelständer und einer Säule befinden sich drei Bleche, von denen das mittlere an beiden Längsseiten soweit über die seitlichen Bleche hinwegreicht, daß die Bleche durch eine Nietreihe mit einander verbunden werden konnten. Auf der vorderen Thorseite liegen die seitlichen Bleche bündig mit den unteren Längsblechen, und die Stoßfuge ist durch eine Lasche gedeckt, auf der hinteren Thorseite sind die in ihrem unteren Theil nach einem Viertelkreis gebogenen Bleche mit dem wagerechten Schenkel eines Winkeleisens vernietet. Dieses Winkeleisen stellt die Verbindung zwischen den unteren wagerechten und den oberen senkrechten Blechen her. Für die mittleren Bleche mußten an den entsprechenden Stellen Futterstücke vorgesehen werden. Die oberen gekrümmten Abschlußbleche des unteren Schwimmkastens gehen von Ständer zu Ständer ohne Stofs durch. Ihre Verbindung mit den Ständern und den übrigen Hautblechen ist aus den

Abbildungen auf Bl. 35 u. 36 ausreichend deutlich zu ersehen. Zur Aussteifung der Haut des unteren Schwimmkastens sind zwischen die Ständer bezw. die Ständer und Wende- und Schlagsäule wagerechte  $\perp$ -Eisen (N.-Pr. Nr. 14) eingebaut. Da diese Träger bei der großen Entfernung der Ständer zu schwach sind, um den großen, einem Wasserstande von + 25,50 entsprechenden Wasserdruck aufzunehmen, sind die an den beiden Thorseiten in gleicher Höhe liegenden Träger durch vier wagerechte Winkeleisen mit einander verbunden, und die Träger sind als Balken auf sechs Stützen berechnet. Die zwischen den Trägern liegenden langgestreckten Felder der Thorhaut sind durch lothrechte Winkel, die mit den Trägern und den wagerechten Winkeln theils durch Eckbleche, theils durch Anschlußwinkel verbunden sind, ausgesteift, sodafs die Thorhaut dem Wasserdruck gegenüber in eine große Anzahl kleiner rechteckiger Flächen getheilt ist.

Der obere Schwimmkasten hat nur verhältnismäßig geringfügige Kräfte aufzunehmen, da er beim Thorbetriebe oder während des Liegens der Thore in ihren Nischen einen Wasserdruck irgend welcher Art nicht empfängt und nur beim Ueberführen der ein- oder auszuwechselnden Thorflügel von den Schleusen nach der Betriebswerkstatt bei Rendsburg oder dem Liegeplatz der Ersatzthore, der sich auf dem südlichen Canalufer der Werkstatt gegenüber befindet, in seiner Eigenschaft als Schwimmkasten in Wirksamkeit tritt. Die Ausbildung des oberen Schwimmkastens geht aus den Abbildungen auf Bl. 35 u. 36 hervor. Er ist durch ein in seiner Decke angebrachtes, mit einem Deckel verschließbares Mannloch zugänglich; von ihm aus gelangt man durch Mannlöcher, die beim Thorbetriebe geschlossen gehalten werden, wie bereits früher angegeben, in die Schlagsäule und ebenso in die Wendesäule und von den beiden Säulen in den unteren Schwimmkasten. Auch bei den Sperrthoren war darauf Bedacht genommen, daß auf der Baustelle möglichst wenig Nietarbeit auszuführen war. Deshalb waren in die Wende- und die Schlagsäule etwa 40 cm unter dem oberen und 80 cm über dem unteren Riegel Stöße eingelegt. Die zwischen diesen Stößen liegenden Theile der Säulen kamen in einem Stück nach der Baustelle, ebenso der obere Riegel mitsamt dem oberen Schwimmkasten und den anschließenden Theilen der Wendesäule und der Schlagsäule und der untere Riegel. An diesem waren die unteren Bleche des unteren Schwimmkastens, sowie die unteren Theile der beiden Säulen und die der Ständer bis zu den aus den Abb. 1 u. 9 Bl. 35 u. 36 ersichtlichen Stößen bereits im Werk angenietet. Da auch die drei Ständer von ihrem Anschluß an den oberen Riegel bis zu dem oben erwähnten Stofs je in einem Stück auf die Baustelle kamen, so war dort außer dem Zusammenbau des Thorgerippes im wesentlichen nur der untere Schwimmkasten herzustellen und das Anpassen der Dichtungs- und Schutzleisten, sowie der Stemmkörper zu bewirken.

In der Wendesäule ist der Wasserheber zum Lenzen des Thorflügels aufgestellt. Die Rohrleitungen desselben sind sehr einfach, da mit ihm nur das sich oberhalb des unteren Riegels ansammelnde Wasser von Zeit zu Zeit zu entfernen ist. Ebenso einfach ist auch die Lüftungsanlage. Der Ventilator ist im oberen Schwimmkasten untergebracht, von ihm führt nur ein Rohr nach der Schlagsäule. In dieses Rohr ist dicht am Ventilator ein Hahn eingebaut, der gewöhnlich geschlossen ist, damit das Wasser bei höheren Wasserständen nicht durch den Ventilator in das Thor-Innere gelangen kann. Die bei den Ebbe- und Fluthoren vorhandenen Rohre, durch die Luft in die einzelnen Kammern des Thor-Innern einströmen kann, wenn sich diese von Wasser entleeren oder zu besonderen Zwecken entleert werden,

brauchten bei den Sperrthoren nicht vorgesehen zu werden, weil das Thor-Innere mit Ausnahme des oberen Schwimmkastens stets mit Luft gefüllt sein soll und die Luft aus dem oberen Schwimmkasten durch die Einsteigeöffnung, die beim Thorbetriebe nicht verschlossen wird, entweichen und auch einströmen kann.

Das Spurlager und der Halszapfen, sowie seine Lagerung und Verankerung stimmen im wesentlichen mit den dem gleichen Zweck dienenden Theilen an den Fluth- und Ebbethoren überein, sodafs hier nichts weiter darüber zu sagen ist. Die Dichtungseiste an der Wendesäule ist ebenso wie bei den Ebbethoren angeordnet, dasselbe ist mit den Schutzleisten auf der Vorderseite des oberen und unteren Riegels der Fall. Die eichene, bereits oben erwähnte Leiste am oberen Riegel, die zur Begrenzung des Schützenhubes dient, ist so mit dem Thor verbunden, dafs sie leicht abgenommen werden kann, wenn die Schützen aus ihren Führungen herausgenommen werden sollen. Ihre Vorderfläche ragt, wenn das Thor am Drempele liegt, 15 cm über die Drempeleanschlagsfläche hinaus; liegt der Thorflügel in der Nische, so liegt sie mit der Vorderflucht des Schleusenmauerwerks bündig. Dieses hat seinen Grund darin, dafs der Mittelpunkt der Wendenscheibe bei den Sperrthoren 60 cm hinter der Vorderflucht der Schleusenmauern, aber ebenso wie bei den Ebbe- und Fluththoren nur 45 cm von der Drempeleanschlagsfläche entfernt liegt. Die drei mittleren Ständer und ebenso die Ständer der Wende- und Schlagsäule haben in ihrem oberen Theil Schutzleisten erhalten, die mit der Vorderflucht der Schleusenmauern abschneiden. Die Leisten hören etwa in der Höhe auf, in der der untere Schwimmkasten nach oben hin endigt; sie sind nicht weiter hinuntergeführt, weil der Querschnitt der Seeschiffe so gestaltet ist, dafs die grösste Breite entweder über der Wasserlinie oder doch nur wenig darunter liegt, weil also nicht zu befürchten ist, dafs die Ständer in gröfserer Tiefe unter dem niedrigsten Wasserstande, bei dem noch geschleust wird, Stöße aufzunehmen haben. Von der Holzbekleidung der Ständer innerhalb der Schützöffnungen und von dem Zweck derselben ist bereits oben gesprochen worden, die Abb. 1 u. 4 Bl. 35 u. 36 zeigen die Einzelheiten. In den Abb. 9 und 10 ist die Bekleidung nicht dargestellt, damit die Ausbildung der Ständer besser zu ersehen ist.

Jede Schütztafel besteht aus elf hochkantig aufeinander gestellten, 14 cm starken eichenen Bohlen, die durch vier kräftige Schraubenbolzen zu einem Ganzen verbunden werden. An den beiden Hirnseiten der Bohlentafeln sind je sechs Laufrollen aus Gufsstahl in der aus den Abb. 11 bis 15 Bl. 35 u. 36 dargestellten Weise angebracht. Die Laufrollen sind mit Pockholz ausgebucht und drehen sich um die fest angeordneten Achsen. Die beiden seitlichen Schraubenbolzen zum Zusammenhalten der eichenen Bohlen endigen bei der hinteren Schütztafel oben in Augen. An diesen Augen waren bei der Inbetriebnahme der Sperrthore die calibrirten Ketten zum Heben und Senken der Schützen mit Schäkeln angebracht. Die Ketten führen von dort lothrecht bis zu je einer Kettennufs in die Höhe, die in eine wagerechte, in einem Ausschnitt des oberen Schwimmkastens gelagerte Triebwelle eingebaut ist. In der Abb. 10 Bl. 35 u. 36 ist diese Welle mit ihrer Lagerung dargestellt. Den vier Schützen mit je zwei Ketten entsprechend befinden sich in der Welle, die von den in den Maschinenkammern der Schleusen aufgestellten Motoren in später eingehend zu beschreibender Weise angetrieben wird, acht Kettennüsse. Die Ketten sind um die Nüsse gelegt, führen dann in den oberen Schwimmkasten hinein, daselbst über je eine Ablenkrolle, dann durch eine in dem Stehblech des oberen Riegels angeordnete Oeffnung senkrecht hinunter

zwischen dem vorderen Schütz und der hinteren Fläche des unteren Schwimmkastens bis zu einer unterhalb der Schützen angeordneten und am Thor gelagerten Wenderolle und, sich an die untere Hälfte des Umfanges der Rolle anlegend, endlich wieder senkrecht bis zum Anschlufs an den unteren Theil des hinteren Schützes in die Höhe. Der Verlauf der Ketten und ebenso die Lage der Ablenkrolle und der Wenderolle ist ebenfalls aus der Abb. 10 Bl. 35 u. 36 zu ersehen. Zum Heben der Schützen mufs danach die Triebwelle derartig gedreht werden, dafs die Kettennüsse die Kettentheile, die oben an dem hinteren Schütz befestigt sind, einwinden. Die hinter der Kettennufs ablaufende Kettenlänge verlängert dabei den Theil der Kette, der sich zwischen der Nufs und dem Anschlufs der Kette unten an dem Schütz befindet, genau um dasselbe Mafs, sodafs dieser Theil der Kette das Heben des Schützes nicht hindert. Beim Senken der Schützen mufs die Triebwelle die umgekehrte Drehrichtung erhalten. Sie windet dann den Kettenteil ein, der unten am Schütz befestigt und über die Wenderolle nach oben geführt ist, und sie läfst den oben am Schütz befestigten Kettenteil ablaufen.

Vorbedingung für eine gute Wirksamkeit dieser Einrichtung ist, dafs sämtliche Kettennüsse eines Sperrthorflügels bei jeder Umdrehung genau dieselbe Kettenlänge einwinden, und dafs ferner wenigstens die beiden zu einer Schützöffnung gehörigen Ketten sowohl in ihrer Gesamtlänge wie auch in der Länge der einzelnen Kettenglieder so genau mit einander übereinstimmen, dafs ein Schiefstellen der Schützen und damit ein Klemmen der Schützen in ihren Führungen ausgeschlossen ist. Trotzdem die Ketten aus den besten deutschen Werkstätten bezogen wurden, waren sie bei der Anlieferung schon etwas ungleich und diese Ungleichheit nahm beim Betriebe schnell sehr erheblich zu. Die Folge davon war, dafs schon nach wenigen Hebungen der Schützen starkes Klemmen eintrat. Dadurch wurden die Ketten wieder ungleich beansprucht und reckten sich infolge dessen auch ungleich, und sehr bald wurden die durch das Klemmen auftretenden Widerstände so grofs, dafs die Ketten brachen. In den ersten Monaten nach der Inbetriebnahme der Sperrthore waren gebrochene Schützketten an der Tagesordnung, sodafs es sich als nothwendig erwies, hierin Wandel und ausreichende Abhilfe zu schaffen. Zu dem Zweck wurden oben an dem hinteren Schütz die beiden in der Abb. 11 Bl. 35 u. 36 dargestellten Rollen angebracht und die beiden Schützketten zu einer vereinigt. Diese Kette ist an der einen der beiden unteren Anschlufsstellen am Schütz angebracht, führt dann über die Wenderolle und die Ablenkrolle nach der ersten Kettennufs, von dieser zur zugehörigen, oben am Schütz befestigten Rolle, von dort zu der zweiten Rolle und weiter über die zweite Kettennufs und die zugehörige Ablenk- und Wenderolle zu dem zweiten Anschlufsstelle unten am Schütz. Diese Abänderung hat sich derartig bewährt, dafs Kettenbrüche nur noch selten vorkommen. Bei den Fluth-Sperrthoren in Holtenau liefs sie sich nicht zur Anwendung bringen, weil sie zwischen der Oberkante des oberen Schützes und dem Schutzbalken am oberen Riegel einen freien Raum von etwa 40 cm Höhe erfordert, der dort nicht zur Verfügung steht. Infolge dessen mufste hier die alte Einrichtung beibehalten werden. Durch besonders sorgfältige Auswahl der Ketten und durch vorheriges Recken derselben ist es jedoch auch bei diesen Thoren gelungen, eine ausreichende Betriebssicherheit der Schützen zu erzielen.

Beim Schliessen eines Thores mit einer Strömung nimmt nach den oben erörterten Versuchen an der Entwässerungsschleuse des Bütteler Canals der auf das Thor wirkende Wasserdruck zu, je mehr sich die Thorflügel dem Drempele

nähern, und erreicht sein Höchstmaß in dem Augenblick, in dem die Durchströmungsöffnung ganz abgeschlossen wird. Die Bewegungs- bzw. Rückhaltevorrückungen der Sperrthore ließen sich diesen Verhältnissen dadurch sehr leicht anpassen, daß neben der wie bei den übrigen Thoren angeordneten Zahnstange noch eine Rückhaltekette vorgesehen wurde, deren eines Ende mit dem Schleusenmauerwerk fest verbunden ist, während das andere Ende an dem der Schlagsäule zunächst stehenden Mittelständer angreift. Die Kette ist in der Mitte durch ein Gewicht belastet, ihre Länge so bemessen, daß sie, wenn der Thorflügel am Drempel liegt,  $\frac{1}{20}$  ihrer Länge als Durchhang hat. Dabei hängt die Kette, wenn das Thor geöffnet ist, mit dem Gewicht in einer Nische, die dafür im Schleusenmauerwerk ausgespart ist. Durch die Vergrößerung des Gewichtes ist man in der Lage, auf die Thorflügel in dem Augenblick, in welchem sie sich an den Drempel legen, fast jede beliebige Kraft auszuüben, und infolge dessen war es angängig, dieses Gewicht bei der Entwurfbearbeitung so zu bestimmen, daß es unter allen Umständen schwer genug sein mußte, um jedes harte Anschlagen der Thorflügel an die Drempel zu verhindern. Dazu war nur nöthig, daß man sowohl den durch den Stoß des Wassers auf das plötzlich stillstehende Thor ausgeübten Druck wie auch den infolge des vor dem Thor eintretenden Anstaus entstehenden Wasserdruck berechnete und das Gewicht unter der Annahme bestimmte, daß diese beiden Druckkräfte gleichzeitig in voller Höhe auf die Thorflügel einwirken.

Die Berechnung des hydraulischen und des hydrostatischen Staues erfolgte in folgender Weise: Der hydraulische Druck  $P$  eines Wasserstrahles, der unter dem Winkel  $\alpha$  gegen eine Ebene trifft und, wie in der Text-Abb. 201 angegeben ist, nur nach einer Seite ausweichen kann, ist nach den hierfür als gültig angesehenen Anschauungen

$$P = (1 - \cos \alpha) \cdot \frac{v - c}{g} \cdot Q \cdot \gamma.$$

In dieser Formel bedeutet:  $Q$  die Wassermenge, die in der Zeiteinheit zum Stoß kommt,  $\gamma$  das Gewicht der Einheit des Wassers,  $v$  die Geschwindigkeit des Wassers,  $c$  die Geschwindigkeit der gestoßenen Fläche, die für den vorliegenden

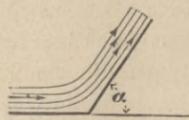


Abb. 201.

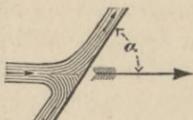


Abb. 202.

Fall zu Null anzunehmen ist, und  $g$  die Beschleunigung durch die Anziehungskraft der Erde = 9,81 m. Kann das Wasser nach zwei Seiten ausweichen, wie in der Text-Abb. 202, dann ist

$$P = \sin^2 \alpha \cdot \frac{v - c}{g} \cdot Q \cdot \gamma.$$

Die größte Geschwindigkeit des ausströmenden Wassers in den Brunsbütteler Schleusen ist nun nach den früher erwähnten Berechnungen rund 1 m in der Secunde und tritt bei einem Wasserstande von +18,50 ein, bei dem die gestoßene Fläche jedes Thorflügels rund 79,5 qm groß ist, während der Schwerpunkt der Fläche nach den hierfür angestellten Sonderberechnungen 6,32 m von der Drehachse der Thorflügel entfernt liegt. Es ist also die Wassermenge, die in einer Secunde zum Stoß kommt,  $79,5 \cdot 1,0 = 79,5$  cbm und die Arbeit derselben 79,5 tm, ferner ist

$$\frac{v - c}{g} = \frac{1}{9,81}$$

und, wenn  $\alpha$  der Sicherheit wegen gleich  $90^\circ$  angenommen wird, der infolge des Wasserstandes entstehende hydraulische

Druck in den beiden oben angenommenen Fällen gleich und zwar

$$P = \frac{79,5}{9,81} = 8,11 \text{ t.}$$

Die hydraulische Druckhöhe ergibt sich somit zu

$$\frac{8,11}{79,50} = 0,102 \text{ m}$$

und das Moment des hydraulischen Drucks zu

$$8,11 \cdot 6,32 = \text{rund } 51,3 \text{ tm.}$$

Wenn durch die Schützöffnungen im Thor nur diejenige Wassermenge abzufließen hätte, die an der Thorfläche zum Stoß kommt, so würde die Spannung der Zahnstangen und der Rückhalteketten allein dem soeben berechneten Moment entsprechen. In Wirklichkeit strömt aber mehr Wasser durch die Schleusen, und dieses Wasser, das fast ausschließlich über dem stoßenden Wasser fließt, muß von dem letzteren verdrängt werden, was nur möglich ist, wenn es in die Höhe gehoben wird. Die dabei geleistete Arbeit muß von den Thorflügeln, sowie den Zahnstangen und Rückhalteketten noch außer dem hydraulischen Stoß aufgenommen werden. Die Höhe, bis zu der der Wasserspiegel an den Thoren durch das nach dem Stoße ausweichende Wasser ansteigen kann, läßt sich aus der Druckhöhe berechnen, die erforderlich ist, um die Geschwindigkeit des ankommenden Wassers in den Schützöffnungen der Thorflügel soweit zu erhöhen, daß das sämtliche, in der Zeiteinheit zufließende Wasser durch die Oeffnungen zum Abfluß gelangt. Bei dieser Berechnung wurde zur Sicherheit darauf verzichtet, die Umlaufcanäle der Schleusen zu berücksichtigen, vielmehr wurde angenommen, daß die ganze Wassermenge durch die Schützöffnungen abfließen muß.

Die Thore bilden Ueberfallwehre, und somit ist die von ihnen abgeführte Wassermenge (vgl. Hütte, 14. Aufl., S. 182)

$$Q = \frac{2}{3} \mu_1 \cdot b \sqrt{2g} \{ (h_2 + k)^{3/2} - k^{3/2} \} + \mu_2 \cdot b \cdot a \cdot \sqrt{2g} \cdot \sqrt{h_2 + k}.$$

In dieser Formel bedeutet:

$Q$  die in der Zeiteinheit abfließende Wassermenge, das sind durch beide Schleusen in Brunsbüttel zusammen 420 cbm,  $b$  die Breite des Wehres, oder bei vier Thorflügeln zu vier Schützöffnungen von je 2,525 m Lichtweite,  $b = 16 \cdot 2,525 = 40,4$  m,

$a$  den Abstand der Wehrkrone von dem Unterwasserspiegel,  $a = 18,5 - 14,0 = 4,5$  m,

$g$  die Beschleunigung durch die Anziehungskraft der Erde,  $h_2$  die Stauhöhe,

$k$  die der Geschwindigkeit des dem Wehr zuströmenden Wassers entsprechende Fallhöhe, also  $k = \frac{v^2}{2g} = \frac{1}{19,62}$  m, und  $\mu_1$  und  $\mu_2$  zwei Festwerthe.

Da die Zwischenständer des Thores wie Pfeiler mit spitzen Vorköpfen gebildet sind, so ist — entgegen den Angaben in der „Hütte“ —  $\mu_1 = 0,954$ , wie auf Seite 183 der „Hütte“ für Brückenpfeiler angegeben, also  $\frac{2}{3} \mu_1 = 0,63$  gesetzt. Für  $\mu_2$  ist  $\frac{0,62 + 0,83}{2} = 0,72$  angenommen.

Hiernach ergibt sich  $h_2 = 0,4$  m.

Daß ein Aufstau in dieser Höhe schon in demselben Augenblick eintritt, in dem die Thorflügel sich an den Drempel legen, war von vornherein nicht wohl anzunehmen, zumal der Rückstau, der durch das Heben des Wasserspiegels erzeugt wird, sofort eine Verminderung der Wassergeschwindigkeit und damit der zufließenden Wassermenge und der Stauhöhe  $h_2$  selbst herbeiführen muß. Trotzdem wurde der Aufstau in voller Höhe in die Berechnung des Gegengewichtes eingeführt. Der durch ihn auf das Thor ausgeübte Wasserdruck beträgt  $79,5 \cdot 0,4 = 31,8$  t und das Moment

$$31,8 \cdot 6,32 = \text{rund } 201 \text{ tm.}$$

Das Moment aus dem hydraulischen und dem hydrostatischen Druck ist somit zusammen gleich

$$51,3 + 201 = 252,3 \text{ tm.}$$

Aus diesem Moment ergab sich, daß die angespannte Rückhalteketten neben der 20 t betragenden Spannung der Zahnstange eine Kraft von 18,5 t auf das Thor ausüben und das Gegengewicht 3700 kg schwer sein muß.

Nach der Inbetriebnahme der Schleusen stellte es sich heraus, daß die Gegengewichte zu groß waren. Beim Schließen der Sperrthore ergaben sich dabei keine Uebelstände. Die Thore konnten zwar nicht ganz an den Dremel herangedreht werden, aber sie schlossen sich sehr bald, wenn die Schützen gehoben wurden und die auf die Thore wirkenden Wasserdrukkräfte sich infolge der Verkleinerung der Durchflußöffnung vergrößerten. Dagegen wirkten die Gegengewichte beim Öffnen der Thore im strömungslosen Wasser und zwar besonders beim Beginn des Öffnens derart auf die Beschleunigung der Thorbewegung, daß die Antriebe der Zahnstangen, sowie die zugehörigen Uebersetzungen, Getriebe und Maschinen überaus starke Beanspruchungen, denen sie auf die Dauer nicht gewachsen sein konnten, erlitten. Deshalb wurden die Gegengewichte sehr bald auf die Hälfte verkleinert, was sehr leicht auszuführen war, weil sie in der Voraussicht, daß sie zu verringern sein würden, aus einzelnen Platten gebildet worden waren.

Bei dem Betrieb der Sperrthore wird es nicht allzu schwierig sein, die bei dem Schließen der Thore in Strömungen von verschiedener Geschwindigkeit zur Wirksamkeit kommenden

Kräfte, sowie die Art und den Verlauf der durch den Abschluss der Strömung erzeugten Stauwelle durch Messungen und Beobachtungen festzustellen. Bisher sind Untersuchungen hierüber noch nicht angestellt worden, es steht aber zu hoffen, daß es bald geschehen wird und daß auch die Ergebnisse dieser Untersuchungen zur Veröffentlichung kommen werden.

#### 4. Die Abdeckungen der Thornischen der Schleusen in Brunsbüttel und Holtenau.

Die Nischen derjenigen Thore, bei denen nicht entweder die Thoroberkante oder die Handleisten der Geländer der Laufstege in gleicher Höhe mit der Oberkante des Schleusenmauerwerks liegen, sind derart abgedeckt, daß die Vorderkante der Schleusenmauern im Grundriß eine gerade Linie bildet. Hierauf wurde Gewicht gelegt, weil dadurch das Verholen der Trossen, mit denen die Schiffe in den Schleusen festgelegt werden, wesentlich erleichtert wird. In Brunsbüttel sind die Nischen der Ebbethore und der Sperrthore, in Holtenau die der Fluththore und der Ebbethore mit Abdeckungen versehen worden.

Die Abdeckungen mußten so angeordnet werden, daß sie leicht entfernt werden können, wenn die Nothwendigkeit hervortritt, einen der Schleusenthorflügel gegen einen Ersatzthorflügel auszuwechseln, und sie durften deshalb mit dem Schleusenmauerwerk nicht in feste Verbindung gebracht werden. Durch Anordnung von zwei kurzen Consolträgern, die im Querschnitt und im Grundriß in den Text-Abb. 203

und 204 dargestellt sind, ergaben sich für jede Thornische drei Abdecktafeln. Die mittlere davon ruht auf den Consolen, während die beiden anderen Tafeln mit einem Ende auf einem Consol und mit dem anderen Ende auf den Abdeckplatten des Schleusenmauerwerks ihr Auflager finden. Zu diesem Zwecke sind diese Abdeckplatten mit einer der Höhe und der rechteckigen Form der Tafel entsprechenden Vertiefung versehen. Jede Tafel besteht aus einem Rahmen von C-Eisen (N.-Pr. 22), der durch quergelegte Winkel (100 × 65 × 11 mm) in Entfernungen von etwa 850 mm versteift ist, und aus einer Decke von Riffelblech. Die Längs-C-Eisen des Rahmens sind, wie aus Text-Abb. 203 ersichtlich, mit eingelegten Eichenholzleisten versehen. Die Consolen bestehen aus 250 mm hohen I-Eisen mit 140 mm breiten Flanschen. Mit diesen Flanschen sind die End-Quer-C-Eisen der drei Tafeln verschraubt. Dabei mußten die Schraubenlöcher an dem einen Auflager der mittleren Tafel länglich hergestellt werden, damit sich die Tafel bei Wärmeschwankungen, ohne Schubkräfte auf die Consolen auszuüben, verlängern oder verkürzen kann. Die Endtafeln können sich auf dem Schleusenmauerwerk entsprechend verschieben, während sie dort gegen

seitliche Bewegungen durch Dorne, die in das Schleusenmauerwerk eingelassen sind und in Langlöcher der Abdeckungen eingreifen, gesichert sind. Da die Consolen ebenfalls entfernt werden müssen, wenn ein Thorflügel ausgehoben werden soll, so sind sie in die aus den Text-Abb. 203 u. 204 ersichtlichen Kästen eingesteckt, die in der Text-Abb. 205 dargestellten Querschnitt

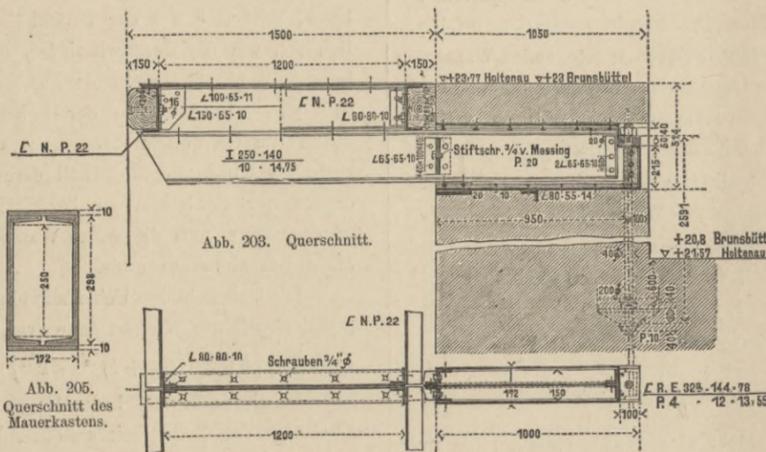


Abb. 203 bis 205. Abdeckungen der Thornischen.

haben. Die Consolen füllen den Innenraum dieser Kästen nicht aus, sie legen sich nur mit dem oberen Flansch gegen ein am hinteren Ende mit der Decke des Kastens vernietetes Lagerblech und ebenso am vorderen Ende gegen ein am Boden des Kastens angebrachtes Lagerblech. Damit die Kästen, die nicht tief unter der Oberkante des Schleusenmauerwerks liegen, infolge der Nutz- und Eigenlast der Nischenabdeckungen nicht aufkippen können, sind sie am hinteren Ende mit dem Mauerwerk verankert. Bei den Ebbethoren der Brunsbütteler Schleuse zeigen die Nischenabdeckungen einige Abweichungen von der soeben erörterten Anordnung. Hierauf ist bereits bei der Besprechung dieser Thore (S. 252) hingewiesen worden.

#### 5. Die Ausführung der Thore.

Die Entwürfe zu den Thoren wurden im Jahre 1891 und in den ersten Monaten des Jahres 1892 in der Kaiserlichen Canal-Commission bearbeitet und zwar soweit, daß die Durchbildung der Thore und aller wichtigen Einzelheiten festgestellt, dagegen die Anordnung im einzelnen, z. B. die Verteilung der Stöße, der späteren Entscheidung überlassen wurde. Nachdem die soweit durchgearbeiteten Entwürfe genehmigt waren, wurde die Herstellung der Thore gegen Ende des Jahres 1892 öffentlich verdungen und der Zuschlag an die Actiengesellschaft für Eisenindustrie und Brückenbau, vormals J. C. Harkort, in Duisburg ertheilt.

Bei der Ausarbeitung der auf die Beschaffenheit der zu verwendenden Materialien bezüglichen Vertragsbedingungen

wurden die Erfahrungen benutzt, die bei der Abnahme des Flusseisens für die Weichselbrücken in Dirschau und Fordon hinsichtlich der Eigenschaften der verschiedenen Flusseisen-sorten gemacht worden sind. Dementsprechend wurde sowohl Flusseisen, das im Martinofen auf basischem Herd erzeugt ist, wie auch in der mit basischem Futter versehenen Bessemer-Birne hergestelltes Flusseisen als bedingungsgemäß anerkannt. Für die Abnahme wurde vorgeschrieben, daß aus jeder Charge ein Probekblock zu gießen und den folgenden Versuchen zu unterziehen sei:

1. einem Zerreiß- und Dehnungsversuch,
2. einem Warm- und einem Kalt-Biegeversuch,
3. einem Härteversuch,
4. einem Ausbreiterversuch.

Erst wenn das Flusseisen bei diesen Proben den später zu erörternden, für die Abnahme der Walzerzeugnisse maßgebenden Vorschriften genügt hatte, wurden die aus der Charge gegossenen Blöcke zur weiteren Verarbeitung zugelassen. Dabei mußten alle Blöcke und ebenso alle Walzerzeugnisse, die aus einer Charge hergestellt wurden, mit der gleichen Nummer versehen werden, damit jederzeit ohne Schwierigkeiten festzustellen war, zu welcher Charge die zur Abnahme vorgelegten Stücke gehörten. Von den fertigen Walzeisen wurden rd. 3 v. H. aller bei einer Abnahme vorgelegten Stücke, von jeder Charge aber wenigstens ein Stück, den weiteren Prüfungen unterworfen. Diese bestanden neben den Besichtigungs- und Gewichtsproben zunächst in der Feststellung der Zugfestigkeit und der Dehnung besonders bearbeiteter Probestäbe. Hinsichtlich der Form und der Abmessungen der Probestäbe und ebenso hinsichtlich der bei der Ausführung der Versuche zu beobachtenden Regeln entsprachen die Vorschriften genau den bezüglichlichen Bestimmungen der mit dem Runderlaß des Königlichen Preussischen Ministers der öffentlichen Arbeiten vom 25. November 1891 bekannt gegebenen „Besonderen Vertragsbedingungen für die Anfertigung, Lieferung und Aufstellung von größeren zusammengesetzten Eisenconstructions“. Die Zugfestigkeit der Flacheisen, der Formeisen und der Bleche war zu mindestens 37 und zu höchstens 44 kg für das Quadratmillimeter Querschnittsfläche des Probestabes vorgeschrieben, und zwar sowohl in der Walzrichtung als auch quer zu dieser. Die Dehnung der 200 m langen Versuchsstäbe mußte nach dem Bruche wenigstens 20 v. H. betragen, wenn der Stab in der Walzrichtung gedehnt worden war, und wenigstens 16 v. H. beim Zerreißen quer zur Walzrichtung. Das Product aus Dehnung in Hundertsteln und Zerreißfestigkeit in Kilogramm für das Quadratmillimeter — die sogenannte Qualitätsziffer — mußten bei Längsproben mindestens gleich 880, bei Querproben mindestens gleich 700 sein, außerdem die Streckgrenze bei Längsproben wenigstens bei 24 und bei Querproben bei 22 kg für das Quadratmillimeter liegen. Für Nieteisen war eine Zugfestigkeit von wenigstens 35 und höchstens 40 kg, eine Qualitätsziffer von mindestens 960 und eine Streckgrenze nicht unter 25 kg vorgeschrieben.

Ferner mußten Biegeversuche ausgeführt werden. Streifen von 30 bis 50 mm Breite, die aus den zu untersuchenden Stücken gleichlaufend mit der Walzrichtung entnommen waren, und ebenso Rund- und Vierkanteisen mußten, kalt oder in kirschrothem Zustande gebogen, eine Schleife mit einem lichten Durchmesser gleich der halben Stärke des Versuchsstabes bilden können, ohne an der Biegungsstelle Risse im metallischen Eisen zu zeigen. Bei Querbiegeproben waren kleine Anrisse in der Oberfläche der Biegungsstelle, sofern sie nicht über die ganze Breite des Stabes durchliefen, zulässig. Solche Risse treten nämlich erfahrungsmäßig auf, wenn die Biegung etwa 30 bis 40° beträgt, und sind unschäd-

lich, wenn sie bei der weiteren Biegung annähernd dieselbe Breite und Tiefe beibehalten. Den eben beschriebenen Versuchen mußten auch solche Versuchsstücke widerstehen, die im schwachrothglühenden Zustande in Wasser von 28° Celsius abgeschreckt worden waren. Endlich waren noch Stauch- und Streckversuche vorgeschrieben. Ein rothwarmer Flachstab von 30 bis 50 mm Breite mußte mit einer nach einem Halbmesser von 15 mm abgerundeten Hammerfimme bis auf das 2 $\frac{1}{2}$ -fache seiner ursprünglichen Breite ausgebreitet werden können, ohne Spuren von Trennung zu zeigen, und ein Stück Rundeisen, dessen Länge doppelt so groß war wie sein Durchmesser, sollte sich bis auf ein Drittel seiner Höhe zusammenstauchen lassen, ohne Risse zu erhalten.

Bei der Abnahme des Flusseisens ist nicht in Erscheinung getreten, daß die Herstellung des den obigen Bedingungen entsprechenden Materials den Hüttenwerken besondere Schwierigkeiten gemacht hat. Am Anfang der Abnahme wiesen allerdings einige Blockproben ungünstige Ergebnisse auf, und die betreffenden Chargen mußten zurückgewiesen werden, späterhin sind aber solche Fälle nur ganz ausnahmsweise einmal vorgekommen.

Sämtliche Bleche und alle Flacheisen von mehr als 320 mm Breite sind aus Flusseisen gewalzt, das im Siemens-Martin-Ofen hergestellt worden ist, das gesamte übrige Material einschl. des Nieteisens ist jedoch im Thomas-Converter erblasen.

Von jedem Blech, aus dem Probestäbe für die Zerreiß- und Dehnungsversuche entnommen wurden, ist sowohl eine Längs- als auch eine Querprobe zerrissen worden. Da die Bleche zum weitaus größten Theil das 2 $\frac{1}{2}$  bis 3 $\frac{1}{2}$ -fache der Breite als Länge hatten, also eine ausgesprochene Walzrichtung besaßen, so boten die Zerreißversuche Gelegenheit zur Prüfung der Frage, ob die Zugfestigkeit von aus weichem Flusseisen hergestellten Blechen quer und längs zur Walzrichtung gleich ist. Bei 311 Längsproben und ebensoviel Querproben ergab sich die mittlere Festigkeit sowohl für die Längs- wie für die Querproben zu 38,60 kg für 1 qmm Querschnittsfläche. Die Zusammenstellung, durch welche diese Zahl ermittelt wurde, hatte auf den einzelnen Seiten die folgenden Ergebnisse:

a) Längsproben.

50 Proben mit im Mittel je 37,83 kg Festigkeit,	
58	38,36
53	39,14
54	39,29
54	38,35
42	38,85
311.	

b) Querproben.

50 Proben mit im Mittel je 37,80 kg Festigkeit,	
58	38,39
53	39,32
54	39,09
54	38,46
42	38,48

Höhere mittlere Festigkeiten zeigen also bald die Längsproben, bald die Querproben, und es darf als erwiesen angesehen werden, daß bei den in der obigen Zusammenstellung berücksichtigten Blechen die Zugfestigkeit quer und längs zur Walzrichtung gleich groß war. Der auffallende Umstand, daß die mittlere Zerreißfestigkeit der Bleche nur 38,60 kg, also nur 1,6 kg mehr als die in den Bedingungen vorgeschriebene Mindestfestigkeit betragen hat, während ein Spielraum von 7 kg zugelassen war, findet seine Erklärung darin, daß ein nicht unerheblicher Theil der Bleche kalt gebogen oder gekümpelt werden mußte, und deshalb wäh-

rend der Abnahme auf die Hüttenwerke dahin eingewirkt wurde, daß sie ein möglichst weiches Material lieferten.

Die mittlere Dehnung hat bei 307 Längsproben 28,49 v. H. der Stablänge und bei 309 Querproben 27,22 v. H. betragen, es ist also die Dehnung quer zur Walzrichtung geringer als längs derselben gefunden. Die Zusammenstellung, durch welche diese Zahlen ermittelt worden sind, hatte auf den einzelnen Seiten die folgenden Ergebnisse:

## a) Längsproben.

50 Proben mit im Mittel je 28,35 v. H. Dehnung,	
54 " " " " " 27,43 " "	
53 " " " " " 28,87 " "	
54 " " " " " 29,29 " "	
54 " " " " " 29,10 " "	
42 " " " " " 27,74 " "	

## b) Querproben.

50 Proben mit im Mittel je 27,22 v. H. Dehnung,	
56 " " " " " 27,05 " "	
53 " " " " " 27,88 " "	
54 " " " " " 27,05 " "	
54 " " " " " 27,30 " "	
42 " " " " " 26,74 " "	

Auf jeder einzelnen Seite der Zusammenstellung ergab sich also die Dehnung der Querproben kleiner, als die der Längsproben. Die mittlere Dehnung übertrifft das in den Bedingungen festgesetzte Mindestmaß recht erheblich, sie würde noch höher gefunden sein, wenn in der Zusammenstellung nur die Proben berücksichtigt worden wären, bei denen der Bruch in dem mittleren Drittel der Stablänge eingetreten ist. Dies konnte nicht geschehen, weil über die Bruchstelle keine Aufzeichnungen gemacht worden sind; es genügte dem abnehmenden Beamten, wenn die Dehnung bei einem Bruch außerhalb des mittleren Drittels der Stablänge über dem vorgeschriebenen Mindestmaß lag und die Qualitätsziffer erreicht oder so nahezu erreicht war, daß sie bei günstigerer Lage der Bruchstelle mit Sicherheit innegehalten worden wäre. Die niedrigste Dehnung ist bei einer Längsprobe, die nahe an dem einen der beiden Körnerpunkte gebrochen war, beobachtet worden und hat 21 v. H. der Stablänge betragen, während die Dehnung der Querproben nicht unter 22 v. H. herabgesunken ist. Die geringste Qualitätsziffer ergab eine Querprobe und zwar 825.

Chemische Untersuchungen der Chargen und der Walzerzeugnisse wurden bei der Abnahme nicht vorgenommen, der Unternehmer war jedoch verpflichtet, dem abnehmenden Beamten Kenntniß von den Ergebnissen der seitens der Hüttenwerke ausgeführten Analysen zu geben und ihn auf Verlangen der Ausführung der Untersuchungen im Laboratorium beiwohnen zu lassen. In den Chargen, aus denen die zu den oben näher besprochenen Zerreiß- und Dehnungsproben verwandten Bleche hergestellt worden sind, wurden Mangan, Kohlenstoff und Phosphor in den folgenden Antheilverhältnissen gefunden:

	Mangan v. H.	Kohlenstoff v. H.	Phosphor v. H.
Höchster Antheil . . .	0,630	0,109	0,052
Mittlerer " . . .	0,460	0,080	0,032
Niedrigster " . . .	0,330	0,067	0,016

Die Versuche mit Nieteisen, das aus 23 verschiedenen Thomas-Chargen hergestellt war, ergaben:

		für 1 qmm Querschnittsfläche
die niedrigste Streckgrenze zu . . .	25,1 kg	
" mittlere " " . . .	26,1 "	
" höchste " " . . .	26,8 "	

		für 1 qmm Querschnittsfläche
die geringste Zerreißfestigkeit zu . . .	36,3 kg	
" mittlere " " . . .	37,2 "	
" höchste " " . . .	38,9 "	
die geringste Dehnung zu 29,0 v. H. der Stablänge,		
" mittlere " " 31,7 " " "		
" höchste " " 35,0 " " "		
die niedrigste Qualitätsziffer zu 1070,		
" mittlere " " 1177 und		
" höchste " " 1288.		

Die ersten Eisentheile, die von der Unternehmerin nach der Baustelle geliefert wurden, waren die Verankerungen der Thorflügel, die gleichzeitig mit dem Auführen der Schleusenmauern eingebaut werden mußten und in den Monaten Mai bis Juli 1893 eingemauert wurden. Im August begann dann sowohl in Brunsbüttel als auch in Holtenau die Aufstellung der Gerüste für den Zusammenbau der Thore. Nach dem von der Unternehmerin ausgearbeiteten und seitens der Bauverwaltung genehmigten Bauplane sollten sämtliche Thorflügel eines Schleusenhauptes, also am Aufsenhaupt und am Binnenhaupt je vier Fluththor- und vier Ebbethorflügel und am Sperrthorhaupt acht Sperrthorflügel, gleichzeitig zusammengebaut werden, und es war beabsichtigt, mit einem Satz Gerüste für jede der beiden Schleusenanlagen in Brunsbüttel und Holtenau zunächst die Thore an den Aufsenhäuptern, dann die Thore an den Binnenhäuptern und schließlich die Sperrthore fertig zu stellen. Dasselbe Gerüst sollte also dreimal benutzt werden, wobei es allerdings der niedrigeren Höhenlage der Sperrthorhäupter wegen einmal umgebaut werden mußte. Es gelang jedoch nicht, diese Absicht durchzuführen, vielmehr mußte in Rücksicht auf die gebotene Beschleunigung der Aufstellung der Thore sowohl für Brunsbüttel wie auch für Holtenau noch ein weiteres halbes Gerüst beschafft werden.

Für die Anordnung und die Bauart der Gerüste war der Vorgang bei dem Zusammenbau der Thorflügel maßgebend. Der unterste Riegel wurde auf der Sohle der Thor-kammern derartig verlegt, daß die Längsachse des Riegels mit einer durch den Mittelpunkt des Spurzapfens gelegten geraden Linie zusammenfiel, die Wendensäule aber einen Abstand von etwa 1 m von der Wendenscheibe hatte und der Riegel 100 mm höher gelagert war, als seiner endgültigen Stellung entspricht. Auf dem untersten Riegel wurden die Thorflügel aufgebaut. Ihre ganze Last ruhte also auf der Schleusensohle, während die Gerüste nur die wagerechten Kräfte aufzunehmen hatten, die durch den Winddruck oder infolge sonstiger auf das Umfallen der hohen Thorflügel wirkenden Ursachen entstanden. Außerdem dienten sie zum Tragen der Laufkrähne, mit denen die einzelnen Theile der Thore nach ihrer Verwendungsstelle geschafft wurden, und sie boten überdies einen Uebergang über die Schleusen für die bei den Aufstellungsarbeiten beschäftigten Werkleute. Neben den Hauptgerüsten wurden noch kleinere Arbeitsgerüste benutzt, durch die jede Stelle der Thore für die Hand der Arbeiter erreichbar gemacht wurde.

Die Hauptgerüste bestanden — wie die Text-Abb. 206 zeigt — aus drei symmetrisch zur Achse des Schleusenhauptes angeordneten Theilen, einem mittleren Bockgerüst mit zwei Fahrschienen und zwei Seitengerüsten mit je einer Fahrschiene. Je eine Fahrschiene des Mittelgerüsts und die Fahrschiene des benachbarten Seitengerüsts bildeten das Gleis für einen Laufkrahnen, der mit Rücksicht auf die Lage der Thore während der Aufstellung eine Spurweite von 11,5 m hatte erhalten müssen. Jeder der beiden Laufkrähne hatte bei den Gerüsten, die über beide Schleusenammern hinwegreichten, vier Thorflügel zu bedienen, und zwar am Aufsen-



bearbeitung wieder eingesetzt und die Entfernung zwischen Linealschneide und Nische in gleichmäßig über die Höhe der Stemmleiste vertheilten Abständen gemessen. Nach diesen Mafsen wurde dann die Leiste bearbeitet. Das Verfahren hat sich derartig bewährt, dafs bei keinem einzigen der 48 aufgestellten Thorflügel ein Wiederentfernen des in seine endgültige Stellung eingefahrenen und auf das Spurlager abgesetzten Thorflügels nothwendig gewesen ist.

War ein Thorflügel auf seinem Lager auf dem Thor-kammerboden vollständig fertig gestellt, dann wurde er auf seine Dichtigkeit geprüft. Dies geschah durch Einlassen von Wasser in jede einzelne Abtheilung des Thor-Innenen. Diese Proben waren insofern nicht ganz zuverlässig, als der vom Wasser ausgeübte Druck an vielen Stellen die umgekehrte Richtung hatte, wie es bei dem Betriebe der Thore der Fall ist, trotzdem kann das Verfahren zur Nachahmung empfohlen werden. Als das Wasser in die Schleusen eingelassen wurde, erwiesen sich die Thore mit Ausnahme weniger Stellen als

zwei Wangen mit je zwei Laufrädern nebst einer Hebeschraube und zwei Querverbindungen, die unter den Thoren hindurch gingen. Nachdem die Wagen aufgestellt waren, wurden zunächst die Spindeln solange gedreht, bis die Querstücke den Thorflügel von den Lagern, auf denen er bisher geruht hatte, so weit abgehoben hatten, dafs diese Unterstüzungen entfernt werden konnten. Dann wurden die Thorflügel in die Nischen eingefahren und schliesslich durch Zurückdrehen der Schraubenspindeln auf den Spurzapfen abgesenkt und mit den Halslager-Verankerungen verbunden. Während dieser ganzen Zeit wurden die Thorflügel mittels Flaschenzügen an dem Gerüst geführt, um ein Umkippen der hohen Thore zu verhüten. Nachdem sie dann erst noch an zwei Stellen unterklotzt worden waren, wurden die Schraubenspindeln weiter zurückgedreht und die Wagen abgebaut. Das Unterklotzen hatte einmal den Zweck, den Spurzapfen und den Halszapfen zu entlasten, dann aber sollte auch vermieden werden, dafs die Thorflügel frei in der Schleuse hingen und unter der

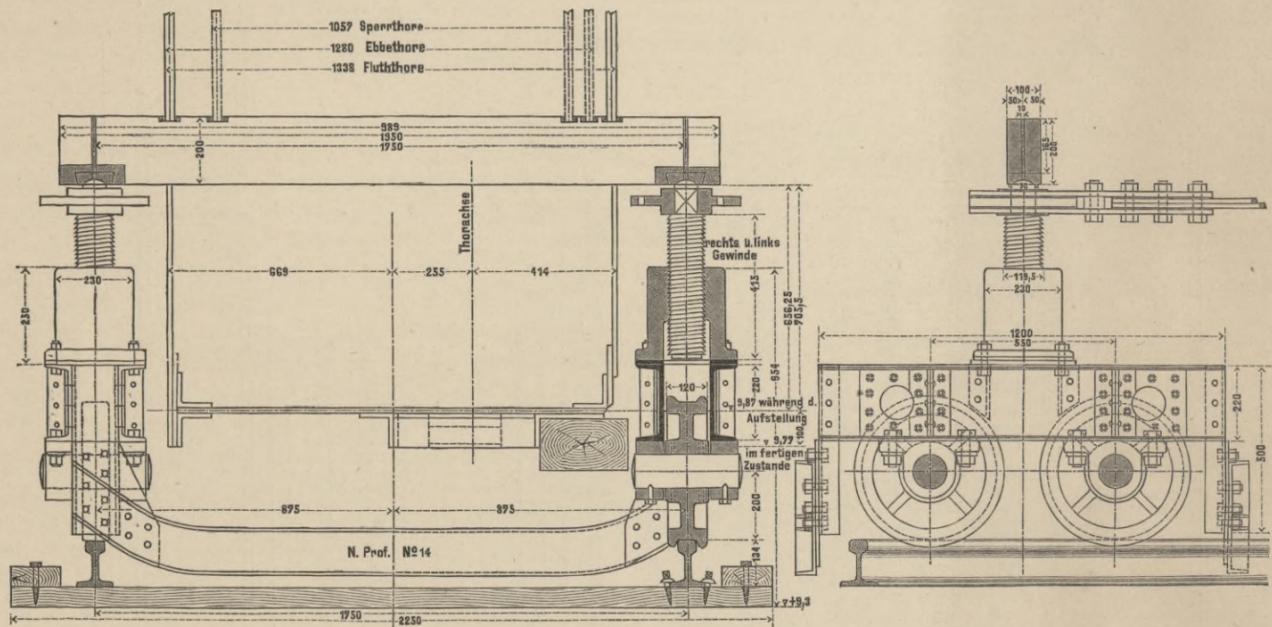


Abb. 207. Hintere Ansicht und Querschnitt.

Abb. 208. Seitenansicht.

Wagen zum Einfahren der Thorflügel. 1:20.

dicht, und dieses günstige Ergebnifs wird in erster Linie dem Nachstemmen aller bei den Proben vorgefundenen undichten Niete und Nähte zu verdanken sein. Allerdings war das Verfahren ziemlich zeitraubend und auch nicht ganz billig, da zum Füllen der Thorflügel mit Wasser auf der Baustelle besondere, theilweise ziemlich lange Rohrleitungen hergestellt werden mußten.

Erst nach Beendigung der Dichtigkeitsproben wurden die Thore in ihre endgültige Stellung gebracht. Dies geschah mit Hilfe von zwei vierrädrigen Wagen, die mit Hebe- und Senkungsvorrichtungen versehen waren und in den Text-Abb. 207 und 208 zur Darstellung gebracht sind. Die Wagen bewegten sich auf einer mit starken Bohlen unterlegten Schienenbahn, die schon während des Zusammenbaues der Thorflügel als Unterlage für die den untersten Riegel unterstützenden Klotzlager und Schraubenwinden gedient hatte. Als Hebevorrichtung jedes Wagens dienten zwei Hebeschrauben, deren Spindeln durch Schneckengetriebe bewegt wurden. Die beiden Spindeln jedes Wagens trugen gemeinschaftlich ein schmiedeeisernes Querstück, das etwa in der halben Höhe zwischen den beiden untersten Riegeln durch rechteckige Löcher hindurch gesteckt wurde, die in der vorderen und hinteren Thorhaut hergestellt waren. Die Wagen bestanden aus vier mit einander verschraubten Theilen, nämlich aus

Einwirkung ihres Gewichtes Verbiegungen erlitten, die auf das Undichtwerden der Niete und Nähte hinwirken mußten, die aber nach Inbetriebnahme der Schleusen wegen der dann eintretenden entlastenden Wirkung der Luftkammern in diesem Mafse nicht auftreten können. Das Unterbringen der Wagen, das Anheben, Einfahren und Absenken der Thore und die Entfernung der Wagen nahm für jeden Thorflügel durchschnittlich etwa drei Tage Zeit in Anspruch.

Während des Anhebens und Einfahrens der Thorflügel ruhte ihr ganzes Gewicht auf den beiden Querhäuptern. Die Thorhaut mußte an den Stellen, wo sich die Löcher für die durchgesteckten Querstücke der Wagen befanden, durch aufgenietete Bleche verstärkt werden, da der auf die Oberseite der Löcher entfallende Flächendruck zu groß wurde. Nach dem Einfahren der Thorflügel wurden die Löcher durch aufgenietete Blindflansche verschlossen.

Die so fertig gestellten Thorflügel wurden vor dem Einlassen des Wassers in die Schleusen einmal in die Thor-nische hinein- und ebenso an den Drempele herangedreht. Zur Bewegung der Thore wurden Schraubenwinden benutzt, die an dem untersten Riegel angriffen und sich gegen Bohlen stützten, die auf der Thor-kammer-sole verlegt waren. Auch während dieser Drehungen ruhten die Flügel nicht allein auf dem Spurzapfen, sondern sie bewegten sich auf einer gut

geschmierten, aus Eisenblechen gebildeten Gleitbahn, die um etwa ein Drittel der Thorlänge von der Schlagsäule entfernt angeordnet war. Das Herandrehen der Thore an den Drempele ermöglichte es, die Dichtungsleisten an der Wendesäule und dem untersten Riegel zu einem genauen Schluß mit dem Schleusenmauerwerk zu bringen und die Stemmleisten an den Schlagsäulen der Fluththore und die Stemmkörper an den obersten Riegeln der Ebbe- und Sperrthore so zu bearbeiten, daß die Thore erst zum Stemmen kommen, wenn sie am Drempele anliegen.

Wie schon bei der Beschreibung der Bauausführung der Gründungs- und Maurerarbeiten für die Brunsbütteler Schleusen und zwar auf Seite 88 u. ff. in Band I, insbesondere auf Seite 90, näher dargelegt worden ist, sind die Seitenmauern der Brunsbütteler Schleusen stark gesackt und haben dabei eine nach hinten übergeneigte Lage angenommen, die z. B. bei dem Aufsenhaupt der südlichen Schleuse das Maß von 1:123 erreichte. Dieselbe Neigung hatten die Laufbahnen für die Endunterstützungsrollen der zur Bewegung der Thore dienenden Zahnstangen und die Sohle der in den Seitenmauern angelegten Maschinenkammern angenommen. Unter diesen Umständen hätte der senkrechte Einbau der Thorflügel mancherlei Schwierigkeiten mit sich gebracht, und es wurde deshalb der Entschluß gefaßt, den Thorflügeln die Neigung der betreffenden Theile der Seitenmauern zu geben. Dadurch blieb die senkrechte Lage der Zahnstangen zu der Thorachse und der planmäßige Eingriff aller Getriebe ohne weiteres erhalten, es muß aber der Schwerpunkt der Thorflügel beim Öffnen derselben der Neigung der Mauern entsprechend gehoben werden. Da die Bewegungsvorrichtungen der Thore reichlich stark bemessen sind, so unterlag dies keinem Bedenken.

Eine Folge des schiefen Einbaues der zu den Seitenmauern gehörigen Thorflügel war, daß die sämtlichen Wendensischen der Seitenmauern nachgearbeitet und die Stemmleisten an der Schlag- und Wendesäule dieser Fluththorflügel sowie die Stemmkörper an den obersten Riegeln dieser Ebbe- und Sperrthorflügel aufgefüttert werden mußten. Bei den Wendesäulen der Fluththorflügel ist die Auffütterung der Stemmleiste durch eine überall gleich starke eichene Bohle, die zwischen die Wendesäule und die Stemmleiste eingelegt wurde, bewirkt. Bei der Schlagsäule wurde die Fuge durch ein vom Drempele nach der Thoroberkante an Stärke zunehmendes hölzernes Keilstück geschlossen, das leicht abnehmbar angeordnet wurde, um es bei etwaigen weiteren Bewegungen der Seitenmauern, durch die eine andere Neigung der Thorflügel herbeigeführt wird, durch einen anderen, besser passenden Keil ersetzen zu können. Die stählernen Stemmkörper der fraglichen Ebbe- und Sperrthorflügel wurden durch Aufschrauben eines ebenfalls stählernen Stückes aufgefüttert, der keilförmige Schlitz zwischen den beiden Schlagsäulen eines Thores wurde durch ein Flacheisen geschlossen, das in einen zu diesem Zweck in dem Holzfutter an den Schlagsäulen der Seitenmauer-Thorflügel hergestellten, mit Winkeleisen gesäumten Schlitz eingeschoben wurde. Trotzdem in Holtenau

keinerlei Bewegungen der Schleusenmauern eingetreten sind, wurden auch dort die Ebbe- und Sperrthore so hergerichtet wie in Brunsbüttel, um sie später jederzeit daselbst verwenden zu können.

Einige Tage vor dem Einlassen des Wassers in die Schleusen, das in Holtenau Anfang August, in Brunsbüttel Anfang September 1894 erfolgte, erhielten sämtliche Thorflügel neue Unterklotzungen, die aus vollständig mit Wasser gesättigtem Holz angefertigt wurden, um ein späteres Aufquellen der Hölzer zu verhindern. In jede Unterklotzung war ein Doppelkeil eingelegt und an einem der beiden Keile war ein Drahtseil angebracht, das nach den Schleusenmauern hinaufführte. Mit Hilfe dieser Seile sollten die Keile unter den Thoren herausgezogen werden, sobald in den Schleusen der normale Wasserstand erreicht und infolge des Auftriebes der Luftkammern eine Entlastung der Unterklotzungen eingetreten war. Bei einzelnen Flügeln gelang auch das Entfernen der Keile, und die Unterklotzungen schwammen auf, zumeist aber erwiesen sich die Drahtseile als zu schwach, und die Flügel mußten mit Hilfe der unterdessen angebrachten Zahnstangen von den Unterklotzungen befreit werden. Dieses war vorausgesehen worden, und die Doppelkeile waren deshalb sämtlich so verlegt worden, daß sie sich lösten, wenn die Thorflügel nach den Nischen zu bewegt wurden.

Die Ersatzthore wurden auf dem Liegeplatz gegenüber der Betriebswerkstatt in Rendsburg in wagerechter Stellung zusammengebaut und ebenso auf ihre Dichtigkeit geprüft, wie es oben beschrieben worden ist.

Der Anstrich der Thore wurde theils im Werk, theils auf der Baustelle hergestellt. Im Werk wurde aufser dem Leinölfirnis-Anstrich, der auf die einzelnen, gut gereinigten Eisentheile vor ihrer Zusammensetzung aufgebracht wurde, nur ein Grundanstrich aus reiner Bleimennige auf den zum Versand fertigen Thortheilen hergestellt. Nachdem die Thorflügel vollständig fertig gestellt und auf ihre Dichtigkeit geprüft waren, wurden aufser einem zweiten Bleimennige-Anstrich noch zwei Anstriche mit Kohlentheer aufgebracht. Die Wahl von Kohlentheer für die Deckanstriche hat sich nach den bisherigen Erfahrungen als zweckmäßig herausgestellt.

Die Gesamtkosten der Thore für die Schleusen in Brunsbüttel und Holtenau einschliesslich der Ersatzthore und einiger Ersatztheile haben nach der Abrechnung mit der ausführenden Gesellschaft rund 2 333 000  $\mathcal{M}$  betragen. In der unten stehenden Zusammenstellung sind einige Angaben über die Gewichte usw. und die Kosten je eines Flügels der verschiedenen Thore gemacht, dabei sind die Gewichte auf kg, die Inhalte auf cbdm, die Flächen auf qdm und die Geldbeträge auf volle Mark abgerundet.

Zu den einzelnen Spalten der Zusammenstellung ist noch folgendes zu erwähnen:

Zu Spalte 2: Die Gewichtsangabe umfaßt sämtliche Stahl-, Schmiedeeisen- und Gußeisentheile der Spur- und Halslager einschliesslich der Verankerungen und der an den Thorflügeln befestigten Theile, sowie die Verankerungen der

1. Bezeichnung der Thore	2. Gewicht der Verankerung t	3. Kosten $\mathcal{M}$	4. Gewicht der Eisentheile der Thorflügel ohne Verankerung t	5. Kosten der Eisentheile der Thorflügel ohne Verankerung $\mathcal{M}$	6. Kosten der Lenz- Vorrichtungen $\mathcal{M}$	7. Kosten der Lüftungs- Vorrichtungen $\mathcal{M}$	8. Inhalt der Holztheile cbm	9. Kosten $\mathcal{M}$	10. Gesamt- kosten eines Thor- flügels $\mathcal{M}$	11. Fläche eines Thor- flügels qm	12. Kosten von 1 qm Thor- fläche $\mathcal{M}$
Fluththore:											
a) Brunsbüttel . . .	4,217	1329	124,456	41 913	5382	895	4,694	1455	50662	221,37	229
b) Holtenau . . . .	4,010	1275	92,206	31 145	4343	831	4,824	1495	39 176	183,30	214
Ebbethore . . . . .	3,170	988	92,687	30 888	1908	945	4,099	1269	37 220	143,68	259
Sperrthore . . . . .	3,751	1170	76,233	25 681	504	590	11,800	3658	33 574	144,49	232

Schutzketten an den Fluth- und Ebbethoren und der Gegengewichtsketten der Sperrthore.

Zu Spalte 4 und 5: Hier sind auch die Schutzketten und die Gegengewichtsketten, sowie die Stemmkörper an den Ebbe- und Sperrthoren berücksichtigt, die Gegengewichte der Sperrthore dagegen nicht.

Zu Spalte 8 und 9: Die Schützen der Sperrthore sind in die Angaben nicht eingeschlossen. Die acht Schützen eines Thorflügels haben einschliesslich der Schützenketten und der unteren Kettenrollen nebst Schutzkasten rund 7000 *M* gekostet.

Zu Spalte 10: Die Spalten 3, 5, 6, 7 und 9 ergeben zusammen eine kleinere Zahl, weil in Spalte 10 auch die Kosten der Cementestriche und einige andere, kleinere Beträge mit enthalten sind. Bei den Sperrthoren umfasst die Preisangabe die Schützen nicht.

Zu Spalte 11: Die Höhe der Thorflügel ist überall von der Drempeleoberkante ab und bei den Fluththoren bis zur Oberkante der äusseren Thorhaut, bei den Ebbe- und Sperrthoren bis zur Mitte des oberen Riegels gemessen worden. Die Länge der Fluth- und Ebbethorflügel ist mit 14,10 m, die der Sperrthorflügel mit 14,18 m in Ansatz gebracht.

Zu Spalte 12: Die Schützen der Sperrthore sind nicht berücksichtigt.

Die Fluththore in Holtenau und die Ebbethore für Brunsbüttel und Holtenau sind für annähernd denselben Wasserüberdruck berechnet und bieten deshalb eine günstige Gelegenheit zur Vergleichung der Gewichte von Riegelthoren und Ständerthoren. Wie die Spalte 4 der Zusammenstellung zeigt, haben die Ebbe- und die Fluththorflügel annähernd dasselbe Gewicht, dabei ist die Fläche eines Fluththorflügels erheblich grösser, sodafs von vornherein anzunehmen gewesen wäre, ein Fluththorflügel müfste viel schwerer sein als ein Ebbethorflügel. Bei der Berechnung der Thorfläche ist die Höhe der Fluththore bis zur Oberkante der äusseren Thorhaut, die der Ebbethore aber nur bis zur Mitte des oberen Riegels gerechnet worden. Bringt man auch bei den Ebbethoren die Höhe der geschlossenen Blechwand in Ansatz, trotzdem diese Höhe beim Schleusenbetriebe nie zur Ausnutzung gelangen kann, dann erhöht sich die Fläche der Ebbethore auf rund 158 qm, bleibt also noch immer um 25 qm oder um rund 14 v. H. hinter der Fläche der Holtenauer Fluththore zurück.

Bisher ist auf Grund theoretischer Erwägungen immer angenommen worden, dafs Ständerthore bei gleichen Wasserstandsunterschieden und gleichen Berechnungsannahmen leichter werden als Riegelthore mit derselben Fläche. Bei den Thoren des Kaiser Wilhelm-Canals stellt sich aber heraus, dafs das Gewicht der Flächeneinheit der Ständerthore höher ist als bei den Riegelthoren. Dieser auffällige Umstand bedarf der Erklärung, die im folgenden versucht werden wird.

Bei den Riegelthoren konnte die Stärke der Thorhaut in jedem Riegelfelde dem dort herrschenden Wasserdrucke entsprechend bemessen werden, bei den Ständerthoren hat die Haut dagegen nur zwei verschiedene Stärken erhalten, die je nach dem auf den untersten Theil der Bleche einwirkenden Wasserdruck berechnet wurden. Die Thorhaut ist also verhältnismässig zu stark; sie hätte dem Wasserdruck besser angepasst werden können, dann hätten aber mit der grösseren Zahl der Stöße auch mehr zu dichtende und dicht zu haltende Niete und Nähte in den Kauf genommen werden müssen.

Der Querschnitt der Ständer wird nicht ausgenutzt. Während die Riegel bei dem höchsten Wasserüberdruck durchweg für eine Beanspruchung von annähernd 1200 kg/qcm

berechnet sind, treten in den Ständern nur Höchstbeanspruchungen von rund 750 kg auf. Die Ständer sind also überflüssig schwer, und dem liefs sich, da die Breite der Thore durch anderweitige Rücksichten bestimmt war, nur dadurch abhelfen, dafs man die Ständerentfernung vergrösserte. Dann wären aber die Versteifungen der Thorhaut noch schwerer geworden, als sie es jetzt schon sind. Sie wiegen der Querverbindungen wegen erheblich mehr als bei den Fluththoren. In diesen drei Momenten wird das Mehrgewicht der Ständerthore im wesentlichen begründet sein.

#### b) Die Schützen der Umlaufcanäle.

Wie bereits auf Seite 79 in Band I mitgeteilt worden ist, dienen hölzerne Rollenschützen zum Verschluss der Umlaufcanäle der Brunsbütteler Schleusen. Die gleiche Vorrichtung ist auch bei der Schleuse in Holtenau verwandt. Jeder der vier Umlaufcanäle müfste an beiden Enden mit einem Schütz versehen werden, es waren also sowohl in Brunsbüttel wie in Holtenau acht Schützen notwendig. Thatsächlich ist aber die doppelte Anzahl von Schützen vorgesehen, sodafs für jedes einzelne Schütz ein Ersatz vorhanden ist, der den regelmässigen Schleusenbetrieb auch dann ermöglicht, wenn ein Schütz zu Instandhaltungs- oder Instandsetzungsarbeiten aus der Schleuse entfernt werden mufs. Wenn beide Schützen in Ordnung sind, dann wird während des gewöhnlichen Schleusenbetriebes doch stets nur das eine Schütz bewegt, während das andere hoch gezogen ist und den Querschnitt des zugehörigen Umlaufcanaals freiläfst. Wie aus Abb. 3 auf Blatt 20/21 in Band I zu ersehen, liegen die Mitten der beiden Schützen je 5,20 m vor bzw. hinter der Querachse des Aufsen- und des Binnenhauptes der Schleusen. Die dem Aufsenhafen zunächst liegenden Schützen werden im folgenden und besonders bei der Erörterung der Bewegungsvorrichtungen der Schleusen als Fluthschützen und zwar sowohl im Aufsenhaupt als auch im Binnenhaupt bezeichnet; die dem Binnenhaupt am nächsten liegenden Schützen werden dementsprechend Ebbeschützen genannt werden. Jede der beiden Schleusenanlagen in Brunsbüttel und Holtenau hat also am Aufsenhaupt und ebenso am Binnenhaupt je vier Fluthschützen und je vier Ebbeschützen. Die Bewegungsvorrichtungen sind dabei so angeordnet, dafs bei dem regelmässigen Schleusenbetriebe die Ebbeschützen gehoben und gesenkt werden, wenn mit den Fluththoren geschleust wird, und die Fluthschützen in Betrieb genommen werden, wenn der Wasserstand im Canal höher ist als im Aufsenhafen, sodafs also die Ebbethore in Benutzung sind. Selbstverständlich ist Vorsorge getroffen, dafs auch mit den gleichnamigen Thoren und Schützen geschleust werden kann, der Betrieb ist dann jedoch nicht so bequem, weil er — wie die späteren Erläuterungen der Bewegungsvorrichtungen der Schleusen zeigen werden — An- und Abkupplungen der Antriebe notwendig macht, während beim Schleusenbetriebe mit den ungleichnamigen Thoren und Schützen die Thore und Schützen gleichzeitig und vollständig unabhängig von einander bewegt werden können.

Die Umlaufcanäle haben den in den Abb. 2 und 3 auf Bl. 18/19, 4 und 5 auf Bl. 20/21 und 11 und 12 auf Blatt 22/23 in Band I dargestellten, der Eiform nachgebildeten Querschnitt. Seine grösste Breite beträgt 2,20 m, die Höhe in der Umlaufcanalmittle 4,06 m. Die Schütztafeln sind, wie die Text-Abb. 209 bis 211 zeigen, aus wagerechten, eichenen Balken von 20 cm Stärke zusammengesetzt, die mit Nuth und Feder ineinander greifen und durch vier kräftige, von unten nach oben durchgehende Schraubenbolzen fest aufeinander geprefst werden. In der Mitte der Schütztafeln ist auf der Vorder- und Hinterseite je ein 400 mm breites,

20 mm starkes Flacheisen angebracht, das sich nicht nur über die ganze Höhe der Tafel erstreckt, sondern erheblich über die Oberkante der Tafel hinausreicht. Oberhalb der Tafel sind die beiden Flacheisen durch ein in der Mitte angeordnetes I Eisen und zwei an den Seiten befindliche U Eisen gegen einander versteift. An den lothrechten Rändern der Schütztafeln sind eiserne, mit Pockholz ausgebuchste Rollen angebracht, die auf festen, mit der Schütztafel verbundenen Stahlzapfen laufen. Auf der Sohle der Umlaufcanäle stehen die Schützen stumpf auf, mit den Rollen stützen sie sich je nach der Seite, auf die der Wasserdruck wirkt, auf Winkeleisen, mit denen die beiden Falze ausgestattet sind, die zur

mit dem Triebrad in Eingriff bleiben, anderseits mußte dieses so tief angeordnet werden, daß die Zahnstange, auch wenn das Schütz sich in seiner obersten Stellung befindet, noch unterhalb der Oberkante der Schleusenhäupter bleibt oder dieselbe doch nur wenig überragt. Infolge dessen mußten die Triebräder in Gruben aufgestellt werden, die in dem Fußboden der Maschinenkammern der Schleusen ausgespart sind. Die Sohle dieser Gruben liegt in Brunsbüttel auf der Höhe von +22,23, also um 2,07 m tiefer als der auf +24,30 liegende Fußboden der Maschinenkammern im Aufsen- und Binnenhaupt daselbst. In Holtenau liegt die Sohle der Schützgruben auf der Höhe +19,50, während der Fußboden der

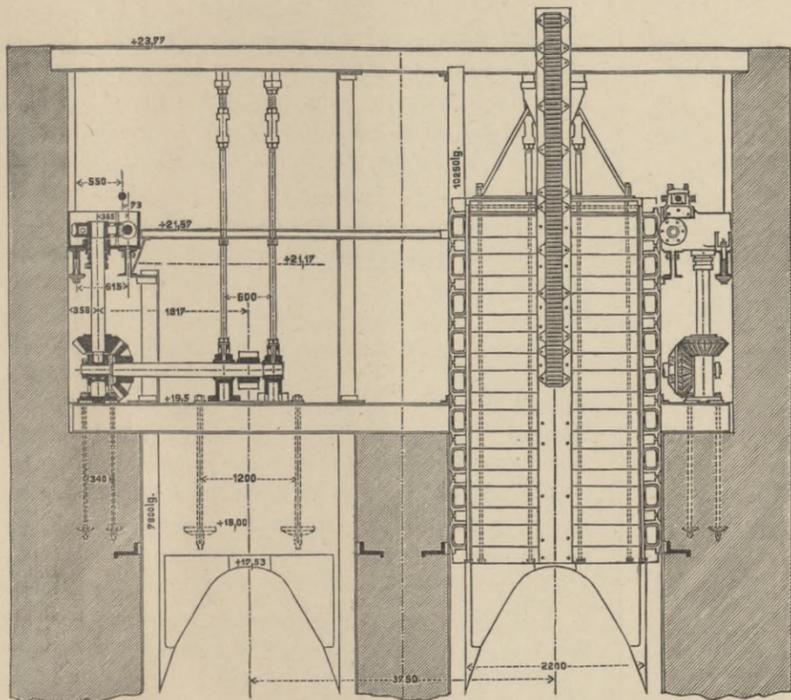


Abb. 209.

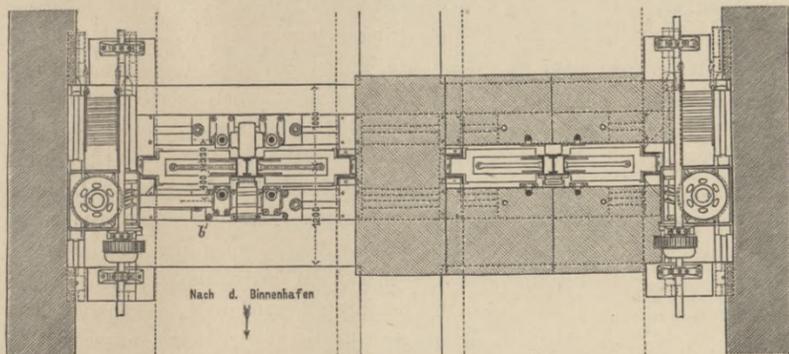


Abb. 210.

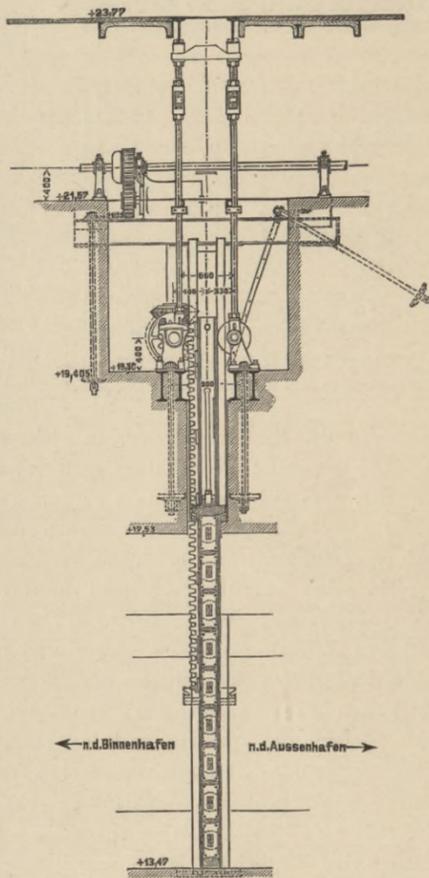


Abb. 211.

Abb. 209 bis 211. Schützen der Umlaufcanäle im Mittelpfeiler in Holtenau. 1:80.

Führung des Schützes während seiner Bewegung dienen. Diese Winkeleisen sind mit dem Schleusenmauerwerk fest aber lösbar verbunden. Sie stehen nämlich unten in den in den Text-Abb. 212 bis 214 dargestellten gußeisernen Schuhen und sind nach oben zu noch zweimal in der aus den Text-Abb. 215 bis 216 ersichtlichen Weise an dem Schleusenmauerwerk befestigt. Das Heben und Senken der Schützen erfolgt durch ein Stirnrad, das in eine am Schütz angebrachte Zahnstange eingreift. Die Zahnstangen befinden sich bei allen Schützen auf der dem Binnenhafen zugekehrten Seite des Schützes, und zwar sind sie an dem einen der beiden oben erwähnten, 400 mm breiten Flacheisen befestigt, während sich eine Gegenrolle, die den guten Eingriff des Triebrades in die Zahnstange sichern soll, gegen das zweite Flacheisen legt. Die Zahnstangen mußten so lang gemacht werden, daß sie auch bei der tiefsten Stellung des Schützes noch

Maschinenkammern auf +21,57, also ebenfalls 2,07 m höher liegt. Die Gruben haben in ihrer Längen- und Breitenausdehnung (Abb. 1 u. 2 auf Bl. 37 und Abb. 3 auf Bl. 38) solche Abmessungen erhalten, daß man an alle Einzeltheile der Bewegungsvorrichtungen der Schützen bequem heran kann. In der Mittelmauer sind die Gruben für die zu den beiden Schleusen gehörigen Ebbe- bzw. Fluthschützen zu einer gemeinsamen großen Grube zusammengezogen. Zwischen den Gruben für die Ebbe- und die Fluthschützen ist in jeder Maschinenkammer ein Verbindungschanal von 1,00 m Breite angeordnet, dessen Sohle die gleiche Höhenlage hat wie die Sohlen der Schützgruben. Von dem Fußboden der Schützgruben ab nach oben zu konnten die Führungswinkelleisen der Schützen nicht mehr an dem Schleusenmauerwerk befestigt werden. Bei jedem Schütz ist das eine Paar Winkelleisen bis zu zwei I Trägern durchgeführt, die den Monier-

gewölben der Maschinenkammerdecken als Unterstützung dienen, und an diesen Trägern befestigt. Die Längsachse dieser

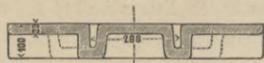
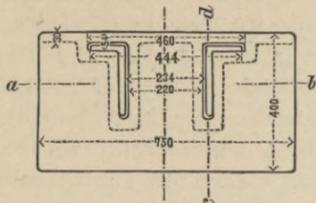
Abb. 212. Längenschnitt *ab*.

Abb. 213. Oberansicht.

Abb. 212 bis 214. Schuh für die Führungswinkelisen der Umlaufcanal-Schützen.

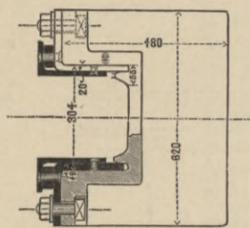


Abb. 215. Grundriss und wagenrechter Schnitt.

Abb. 214. Querschnitt *cd*.

Abb. 215 u. 216. Halter für die Führungswinkelisen der Umlaufcanal-Schützen.

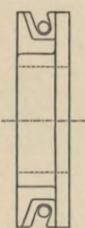


Abb. 216. Hinteransicht.

Fußboden der Maschinenkammer in gleicher Höhe.

Die Bewegung der Schützen nach unten zu ist dadurch begrenzt, daß sich die Schützen auf die Sohle der Umlaufcanäle aufsetzen. Für die Begrenzung des Schützenhubes nach oben mußten jedoch besondere Vorrichtungen angeordnet werden. An dem die Schütztafel überragenden, aus den beiden Flacheisen, dem mittleren I Eisen und den beiden seitlichen I Eisen gebildeten Körper sind nahe dem oberen Ende vier Consolen aus kräftigem Eisenblech angebracht, deren Oberkanten in einer wagerechten Ebene liegen. Mit diesen Consolen stoßen die Zahnstangen in der obersten Stellung der Schützen gegen zwei kräftige, wagerechte Träger, die mit der Längsachse der Schleusen gleichlaufen und mit jedem Ende an eine lothrechte Rundeisenstange angeschlossen sind. Die vier Stangen sind sämtlich mit ihrem oberen Ende an die I Träger der Maschinenkammerdecken angeschlossen, während die unteren Enden an dem Schleusenmauerwerk befestigt sind und Spannschlösser dazu dienen, die Stangen auf die richtige Länge zu bringen. Die Verbindung der Stangen mit dem Schleusenmauerwerk erfolgt für jede einzelne Stange mit Hilfe eines aus Text-Abb. 211 ersichtlichen Gufskörpers. Die Gufskörper, die zugleich als Lager für wagerechte Wellen des Schützenantriebes ausgebildet sind, sind auf der Sohle der Schützengräben aufgestellt und durch vier kräftige Schraubenbolzen mit zwei in die Sohle eingebauten I Trägern, die ihrerseits durch lange Anker mit Kopfplatten im Schleusenmauerwerk verankert sind, verbunden. Bei der gewählten Anordnung wird der Stoß, der bei unvorsichtiger Hebung eines Schützes infolge der plötzlichen Unterbrechung der Bewegung entsteht, nicht auf die die Monierdecke der Maschinenkammern unterstützenden Träger übertragen, sondern von den Rundeisenstangen übernommen und von ihnen auf das Schleusenmauerwerk übermittelt; durch diesen Stoß können also auch keine Beschädigungen der Monierdecken hervorgerufen werden. Ebenso wird die Kraft, mit der ein bereits vollständig in die Höhe gefahrenes Schütz, solange das Absperrventil an der die Schützenbewegung herbeiführenden Druckwassermaschine geöffnet ist, noch weiterhin in die Höhe zu gehen bestrebt ist,

durch die Rundeisenstangen auf das Schleusenmauerwerk übertragen.

Auf den die Monierkappen tragenden wagerechten I-Trägern sind dort, wo die Zahnstangen der Schützen zwischen ihnen hindurch aufsteigend die Oberkante der Schleusenhäupter überragen, gußeiserne, viereckige Schutzkasten mit abnehmbaren Deckeln aufgestellt. Auf zwei der lothrechten Flächen dieser Kasten wird die jeweilige Stellung der Schützen durch Zeiger angegeben, sodafs die auf der Schleuse befindlichen Beamten und Arbeiter diese Stellung jederzeit erkennen können, ohne die Schützen selbst zu sehen. Die Zeiger sind so angeordnet, daß man von der Mittelmauer aus den Stand der Seitenmauerschützen erkennen kann. Der von den Schutzkasten nicht bedeckte Theil des zwischen den I Trägern befindlichen Schlitzes ist mit Riffelblech abgedeckt, das über die halbe Breite der I Trägerflanschen hinwegreicht und mit ihnen durch versenkte Stiftschrauben aus Bronze verbunden ist. Auf die andere Hälfte der Flanschen der I Träger sind Flacheisen aufgenietet, die ebenso stark wie die Riffelbleche sind und mit ihrer Oberkante auf derselben Höhe liegen wie der Asphaltbelag der Maschinenkammerdecken.

Die einzelnen Theile der Schützen haben solche Abmessung erhalten, daß sie den bei einem Wasserstandsunterschied von 5,70 m vor und hinter dem Schütz auf sie einwirkenden Kräften ausreichenden Widerstand entgegensetzen können; sie sind also für denselben Wasserüberdruck berechnet wie die Fluththore in Brunsbüttel. An den Schleusen in Holtenau kommen nur Wasserstandsunterschiede bis zu 3 m vor, die dortigen Schützen hätten also geringere Abmessungen erhalten können. Um aber die Schützen der beiden Schleusenanlagen gegenseitig als Ersatzstücke verwenden zu können, ist von einer Verringerung der Abmessungen in Holtenau Abstand genommen worden. Die bei der Bewegung der Schützen in Wirksamkeit tretenden Theile sind in Rücksicht darauf, daß sich die Schützen vielfach unter Wasser befinden, in den Abmessungen über das sonst für gleichartige Kräfte übliche Maß hinaus verstärkt worden.

Bei den Schleusen des Kaiser Wilhelm-Canals brauchte auf die Dichtigkeit der Schützen kein Werth gelegt zu werden, da weder das Einströmen noch das Ausströmen von Wasser in den bzw. aus dem Canal, soweit es durch Undichtigkeiten an den Schützen stattfindet, von irgend welcher Bedeutung für die Benutzbarkeit des Canals ist, und deshalb konnten an den lothrechten Kanten der Schützen ohne Bedenken die oben erwähnten Laufrollen angeordnet werden, die eine sehr erhebliche Verringerung der zum Heben der Schützen erforderlichen Kraft herbeiführen. Um jedoch der Undichtigkeit thunlichst entgegenzuwirken, sind an die Schützen nahe den lothrechten Kanten Lederstreifen angenagelt, die an ihrer abstehenden Fläche mit Holzleisten versteift sind und durch den Wasserdruck wie Ventilkappen gegen die mit der Längsachse der Umlaufcanäle gleichlaufenden Schenkel der Führungswinkelisen angepreßt werden. Auf dem Boden der Umlaufcanäle stehen die Schützen mit einem Theil ihres Gewichtes auf, und dadurch wird eine ausreichende Dichtung herbeigeführt. Anders war es dagegen an der Oberkante der Schützen. Hier ist der Schützenschlitz durch breitere, am Schütz befestigte Hölzer, die auf ihrer Unterseite mit Lederstreifen versehen sind, gedeckt. Da die Schützen je nach den Wasserständen im Aufsenhafen und im Canal bald auf der einen Seite bald auf der anderen Seite den höheren Wasserstand haben, mußten die Schütztafeln auf beiden Seiten mit den eben erläuterten Dichtungsvorrichtungen versehen werden.

#### c) Die Spille.

Die Spille sind stehende Winden, die dazu dienen, Schiffe in die Schleusen hinein- oder aus ihnen herauszuziehen,

wenn die Maschinenkraft bei Dampfern oder die Zugkraft der die Segelschiffe schleppenden Dampfbote nicht ausreicht, die Schiffe mit der in und dicht bei den Schleusen nöthigen Sicherheit zu bewegen. Im allgemeinen kommen die Spille sowohl in Brunsbüttel als auch in Holtenau nur selten zur Benutzung, wenn sie aber in Benutzung genommen werden, dann ist in der Regel sehr stürmisches Wetter, und es ist erwünscht, möglichst viel Spille zur Verfügung zu haben. Aus diesem Grunde ist die Ausstattung der Schleusen mit Spillen recht reichlich bemessen. In Brunsbüttel und Holtenau sind je 18 Spille vorhanden, davon befinden sich auf jeder der beiden Seitenmauern fünf, auf der Mittelmauer acht. Sechs von diesen Spillen, nämlich je eins an jedem Ende der drei Schleusenmauern, werden von besonderen Maschinen angetrieben und sind jederzeit betriebsfähig, sofern die Druckwasseranlage der Schleusen in Betrieb ist. Die Antriebe der übrigen 12 Spille sind jedoch in die Triebwellen eingebaut, die die Antriebe der Thore und der Schützen mit einander verbinden, und werden von denselben Druckwassermaschinen bewegt, die auch das Öffnen und Schließen der Thore sowie das Heben und Senken der Schützen der Umlaufcanäle und der Sperrthore bewirken. Infolge dessen sind acht dieser zwölf Spille, nämlich die Spille am Außen- und Binnenhaupt, während des Schließens nicht ohne weiteres benutzbar, es müssen vielmehr erst die Antriebe der Thore und Schützen von den Triebwellen abgekuppelt und die Antriebe der Spille angekuppelt werden. Diese Ankuppelungen nehmen einige Minuten Zeit in Anspruch, und es könnte scheinen, daß deshalb die gewählte Anordnung nicht ganz zweckmäßig ist. Wenn aber berücksichtigt wird, daß die sechs Spille an den Enden der Schleusenmauern und die vier Spille, die von den zum Bewegen der Sperrthore dienenden Druckwassermaschinen betrieben werden, jederzeit benutzt werden können und zur sicheren Einführung aller kleineren und mittelgroßen Schiffe in die Schleuse sowie zum Herausbringen dieser Schiffe vollständig genügen, so erkennt man, daß die in die Getriebe am Außen- und Binnenhaupt eingebauten Spille nur dann in Benutzung kommen, wenn besonders große Schiffe durchgeschleust werden. Ehe solche Schiffe sich aber derart in der Schleuse festgelegt haben, daß mit der Thorbewegung begonnen werden kann, ist nach der etwaigen Benutzung der in die Triebwellen eingebauten Spille soviel Zeit verfließen, daß die Umkuppelungen bequem ausgeführt sein können und keinerlei Zeitverlust entsteht. Das Einbauen des Antriebes eines Spills in die Triebwellen, von denen aus die Thore und die Schützen bewegt werden, hat aber auch noch einen großen Vortheil. Sofern nämlich die Spille so eingerichtet werden, daß sie durch Menschenkräfte bewegt werden können — und das ist in Brunsbüttel und Holtenau geschehen —, können mittels der Spille die Triebwellen bewegt und somit die Thore geöffnet und geschlossen und die Schützen gehoben und gesenkt werden. Infolge der für die zwölf Spille getroffenen Anordnung können also die Schleusen auch in Betrieb gehalten werden, wenn die Druckwasseranlagen den Dienst versagen sollten, und das ist ein sehr wesentlicher Vortheil.

Wie die Antriebe der Spille und der Einbau derselben in die Triebwellen der Schleusen im einzelnen durchgebildet sind, wird erst in der nächsten Abtheilung dieses Abschnittes angegeben werden; hier sollten nur die für die allgemeine Anordnung der Spille und die für ihre Vertheilung auf den Schleusenmauern maßgebenden Gesichtspunkte erörtert werden.

Die Zugkraft der Spille ist so bemessen, daß sie die Festigkeit der stärksten beim Verholen von Schiffen benutzten Trossen etwas übertrifft. Die Zugfestigkeit dieser Trossen läßt sich nicht beliebig vermehren, da ihr Querschnitt nach

dem Gesichtspunkt bestimmt werden muß, daß die Trosse von einigen Leuten mit der für Schiffsbewegungen nöthigen Schnelligkeit muß verfahren werden können. Infolge dessen haben solche Trossen, mögen sie aus Tauwerk oder aus Stahldraht hergestellt sein, Zerreihsfestigkeiten bis etwa höchstens 12 t, und dementsprechend wurde die Zugkraft der Spille zu 12 t gewählt. Bei dieser Zugkraft beträgt die Umfangsgeschwindigkeit der Windentrommel 0,125 m. Da so starke Zugkräfte nur in Ausnahmefällen von den Spillen geleistet werden müssen, so sind die Antriebe derartig eingerichtet, daß die Spilltrommeln sowohl mit der doppelten wie mit der vierfachen Umdrehungsgeschwindigkeit bewegt werden können, wobei dann selbstverständlich die Zugkraft der Spille auf die Hälfte bzw. ein Viertel herabsinkt. Die Bedienung der Spille erfolgt, sofern von dem Abkuppeln der Thor- und Schützenantriebe abgesehen wird, durchweg von der Decke der Maschinenkammern aus, sodafs die dabei beschäftigten Leute sowohl das zu bewegende Schiff und die einzuwindenden Trossen, wie auch die Schleusen und den Außen- und Binnenhafen übersehen können. Auch die Veränderung der Zugkraft und der Umdrehungsgeschwindigkeit der Spille wird von der Schleusendecke aus bewirkt. Die Spille haben sämtlich nur eine Umgangsrichtung, und zwar drehen sie rechts herum.

Die Ausbildung der Spille ist aus den Text-Abb. 217 bis 220 zu ersehen. Danach trägt eine kräftige senkrechte Welle, die unten in einem auf dem Fußboden der Maschinenkammern aufgestellten Spurlager ruht und in der Maschinenkammerdecke mit Hilfe eines Rollenkranzes geführt wird, oberhalb dieser Decke eine große, aus Stahlgufs angefertigte Spilltrommel, die mit ihr fest aber lösbar verbunden ist. In dem oberen Theil der Trommel sind acht Löcher vorgesehen, in die Gangbäume (Spillspaken) gesteckt werden können, wenn das Spill durch Menschenkräfte bewegt werden soll. Unterhalb der Maschinenkammerdecke befindet sich auf der lothrechten Welle und fest mit ihr verkeilt ein großes konisches Zahnrad, das mit einem kleineren konischen Rade in Eingriff steht. Dieses zweite Zahnrad ist auf einer wagerechten Welle befestigt, die bei den sechs Spillen an den Enden der drei Schleusenmauern mit Hilfe von Vorgelegen von den zugehörigen Druckwassermaschinen und bei den übrigen Spillen in gleicher Weise von den Triebwellen der Thor- und Schützenantriebe bewegt wird. Dreht sich das kleinere konische Rad, von der Spitze seines Kegels aus gesehen, rechts herum, dann erhält auch die Spilltrommel die planmäßige Umgangsrichtung. Das Spurlager der stehenden Welle bildet einen Theil einer sehr kräftigen, mit dem Schleusenmauerwerk sorgfältig verankerten Grundplatte, die außerdem noch zwei wagerechte Wellen des Spillantriebes trägt. Der Rollenkranz, der in Höhe der Maschinenkammerdecke ein Halslager für die stehenden Wellen bildet, erhält bei der Benutzung der Spille sehr erhebliche Kräfte, da er die wagerechte Seitenkraft der Trossenspannung, noch vermehrt in dem Verhältnifs, das zwischen der Höhe des Trossenangriffspunktes einerseits und des Halslagers andererseits über dem Spurzapfen besteht, aufzunehmen hat. Der Rollenkranz ist deshalb in einen sehr kräftigen, aus Gufseisen hergestellten Deckenkörper eingebaut, der sich seinerseits auf zwei starke, die Maschinenkammer überspannende Träger stützt. Jeder dieser beiden Träger ist aus zwei Theilen so zusammengesetzt, daß er in gleichem Mafse dazu befähigt ist, lothrechten wie wagerechten Kräften zu widerstehen. Die beiden Theile sind mit einander vernietet, an den Enden auf gufseisernen Platten aufgelagert und mit dem Schleusenmauerwerk verankert. Dort wo der Deckenkörper der Spille sich befindet, sind die beiden Träger durch diesen, der mit

ihnen verschraubt ist, mit einander verbunden, in den übrigen Theilen der Trägerlänge sind sie durch Quer- und Kreuzverbände gegen einander versteift, sodafs die beiden Träger seitlichen Kraftwirkungen gegenüber ein Ganzes bilden. Längs der beiden Träger sind U Eisen angeordnet, die an den Enden mit ihnen vernietet sind und daselbst auch auf der

Bestand derselben gefährden können. Der Asphaltbelag der Decken geht über diesen Zwischenraum hinweg, sodafs sich in der Decke selbst keine Fuge befindet. Diese Anordnung hat sich bisher wohl bewährt.

An dem untersten, einen senkrecht stehenden Ring bildenden Theile der Spillglocken sind eine Anzahl einarmiger Hebel angebracht, deren Drehachse an die Spillglocke angeschlossen ist. Diese Hebel, Pallen genannt, schleifen unter der Einwirkung ihres Gewichtes mit dem freien Ende bei jeder Drehung der Spille auf dem Deckenkörper und verhindern dadurch, dafs sie sich bei einem Drehen der Spille in der falschen Umgangsrichtung hinter Vorsprünge legen, die auf den oberen Flächen der Deckenkörper angeordnet sind, eine solche Drehung. Sie entlasten somit, wenn während der Benutzung der Spille sich die Trossenspannung über die jeweilige Zugkraft des Spilles hinaus erhöhen sollte, den Antrieb von dieser grösseren Kraftwirkung und sichern das Spill gegen jede Rückwärtsdrehung. Von diesen Pallen können besonders die eingewundenen Trossentheile leicht erfaßt werden, wie sich beim Betriebe der Spille herausgestellt hat, und deshalb sind nachträglich auf die Deckenkörper noch gufseiserne Ringe aufgeschraubt worden, deren Höhe so bemessen ist, dafs die höchsten Theile der Pallen dieselbe Höhenlage haben wie die Oberkante der Ringe. Diese Ringe sind in den Abbildungen nicht angegeben.

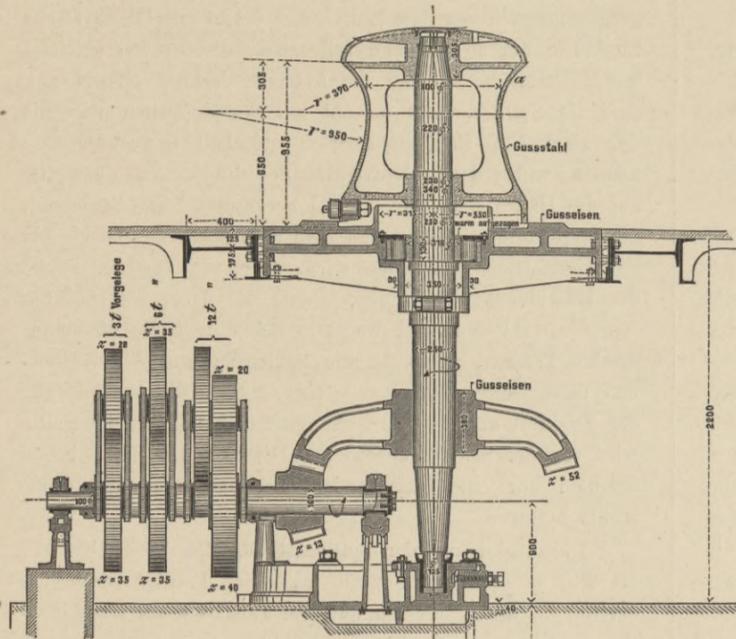


Abb. 217. Loth-durch das rechte Spill.

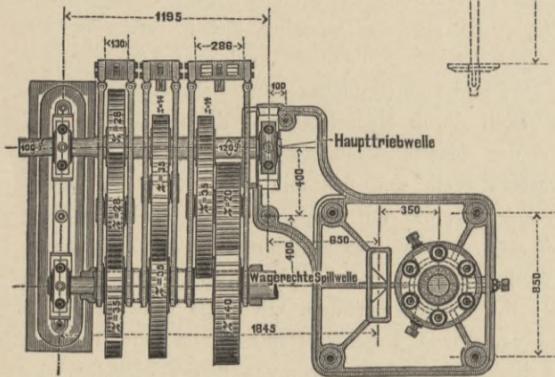


Abb. 218. Oberansicht auf die Grundplatte und die Vorgelege.

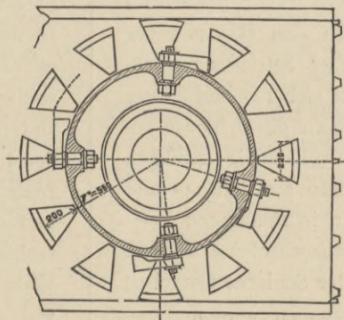


Abb. 219. Oberansicht auf den Deckenkörper und wagerechter Schnitt durch die Spilltrommel in Höhe der Pallen.

Abb. 217 bis 220. Spill nebst Vorgelege.

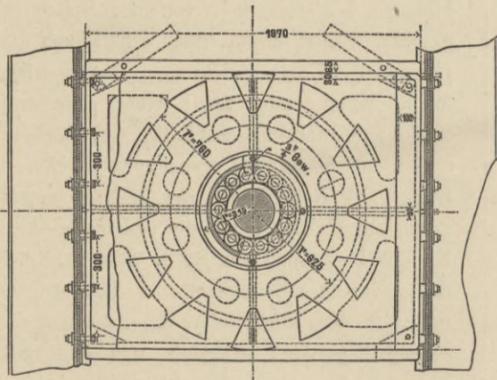


Abb. 220. Wagerechter Schnitt in Höhe des Rollenlagers.

Lagerplatte aufrufen, in dem übrigen Theil der Länge aber einen der Dicke der an den Verbindungsstellen angeordneten Anschlussbleche entsprechenden Abstand von den die Deckenkörper der Spille unterstützenden Trägern haben. Die Flansche dieser U Eisen dienen als Auflager für die Monierkappen der Maschinenkammerdecken; durch den Zwischenraum soll erreicht werden, dafs die bei dem Spillbetriebe unvermeidlichen und von den Spillen auf ihre Unterstützungsträger übertragenen Stöße nicht auch auf die Moniergewölbe einwirken und den

**d) Die Bewegungsvorrichtungen der Thore, Schützen und Spille.**

Die Bewegungsvorrichtungen der Schleusen in Brunsbüttel und Holtenau stimmen bis auf geringfügige Einzelheiten vollständig mit einander überein und werden, wie bereits früher mitgetheilt worden ist, durch Druckwasser betrieben. Das Druckwasser wird aufserhalb der Schleusen in sogenannten Central-Maschinenanlagen unter Verwendung von Dampfkraft hergestellt und in Rohrleitungen nach den Schleusen geleitet, woselbst es nicht nur zum Bewegen der Thore, der Schützen und der Spille, sondern auch zum Leerhalten und zum Lüften der Thore und zum Auspumpen des in den Tunneln unter den Schleusen sich ansammelnden Wassers benutzt wird. In den Central-Maschinenanlagen wird aufser dem für die Schleusen benötigten Druckwasser auch der elektrische Strom erzeugt, der zur Beleuchtung der Schleusen nebst ihren Maschinenkammern, der Dienstgebäude, des Hafengeländes und der Hafenufer an den beiden Mündungen des Canals, sowie endlich der Canalstrecke selbst benutzt wird. Dabei wird von jeder der beiden Central-Maschinenanlagen in Brunsbüttel und Holtenau etwa die halbe Länge des Canals mit Strom versorgt. Die Erzeugung des Druckwassers und des elektrischen Stromes erfolgt durch besondere Maschinen; der von diesen Maschinen verbrauchte Dampf wird jedoch in einer gemeinschaftlichen Kesselanlage hergestellt, und auch ein Theil der Rohrleitungen dient beiden Zwecken. Trotzdem wird im folgenden auf die elektrische Anlage nicht eingegangen, diese vielmehr erst am Schluss dieser Veröffentlichung erörtert werden. Hier wird zunächst die Ausbildung der Bewegungsvorrichtungen der Schleusen selbst beschrieben werden, darauf werden die Rohrleitungen zwischen

der Central-Maschinenanlage und den Maschinen der Schleusen sowie die zu den Maschinen der Schleusen gehörigen Leitungen, dann die Heizungsanlagen für die Maschinenkammern und die Verbindungsgänge der Schleusen und endlich die für die Erzeugung des an den Schleusen benötigten Druckwassers und Dampfes in der Central-Maschinenanlage vorgesehenen Kessel, Maschinen, Accumulatoren usw. und die dazu gehörigen Gebäude erörtert werden. Den Schluss dieser Abtheilung wird eine kurze Darstellung des Verlaufes der Entwurfsbearbeitung, sowie der Ausführung und Kosten der Bewegungsvorrichtungen bilden.

#### 1. Die Bewegungsvorrichtungen der Schleusen.

Bei jeder der beiden Schleusenanlagen in Brunsbüttel und Holtenau müssen 24 Thorflügel, die Schützen von

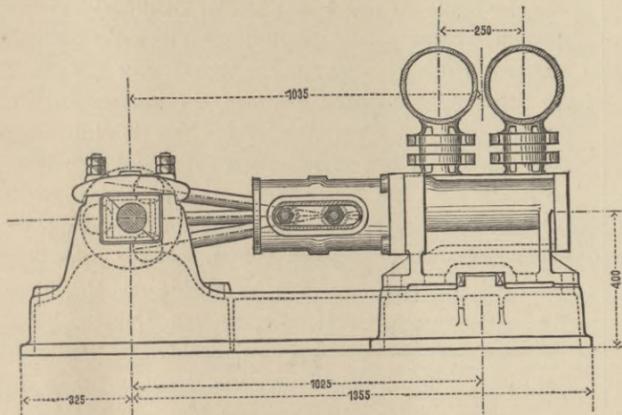


Abb. 221. Lothrechter Längenschnitt und Längenschnitt.

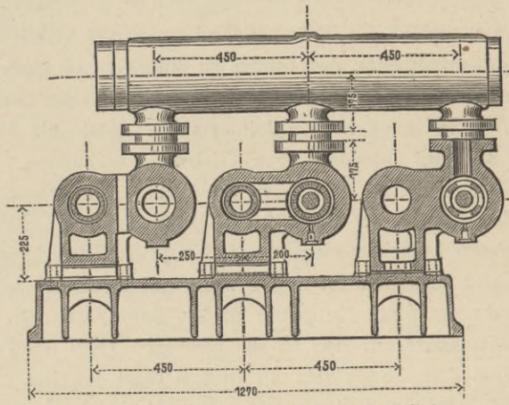


Abb. 223. Lothrechter Schnitt durch die Cylinder und die Schiebergehäuse.

Abb. 221 bis 223. Druckwassermaschine von 26 Pferdekräften Nutzleistung.  
1:20.

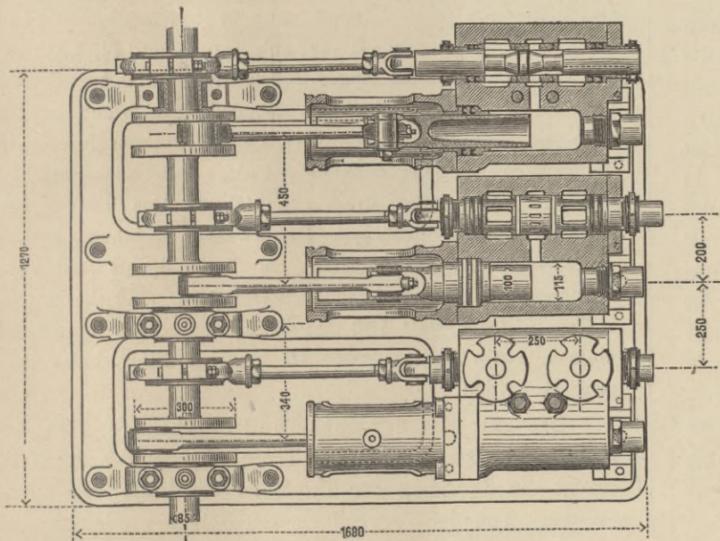


Abb. 222. Wagerochter Schnitt und Oberansicht.

8 Sperrthorflügeln, 16 Umlaufcanal-Schützen und 18 Spille bewegt werden können, und dementsprechend mußten auch 66 verschiedene Antriebe vorhanden sein. Von diesen Antrieben stehen die sechs, die zu den Spillen an den Enden der drei Schleusenmauern gehören, in keinerlei Zusammenhang mit den übrigen Antrieben, wie bereits oben bei der Besprechung der Spille angegeben worden ist, da sie ihre besonderen Druckwassermaschinen haben. Die übrigen Antriebe sind zu 11 Gruppen zusammengefaßt, von denen drei zu den Sperrthoren, ihren Schützen und den in dem mittleren Theil der Schleusenmauern aufgestellten Spillen gehören, während je vier Gruppen zum Aufsenhaupt und zum Binnenhaupt gehören. Jede Gruppe am Aufsen- und Binnenhaupt umfaßt die Bewegungsvorrichtungen für einen Fluththorflügel, einen Ebbethorflügel, zwei Umlaufcanal-Schützen und ein Spill, entspricht also den Bewegungen, die daselbst von einer Seitenmauer aus zu bewirken sind. Da von der Mittel-

mauer aus genau die doppelte Anzahl von Thoren, Schützen und Spillen zu bewegen ist, so sind daselbst auch zwei Gruppen angeordnet, die aber von einander vollständig unabhängig sind. Mit der einen der beiden Gruppen werden die Bewegungen ausgeführt, die nothwendig werden, wenn mit der südlichen der beiden Schleusen geschleust wird, die andere Gruppe dient für die nördliche Schleuse. Diese beiden Gruppen können sich auch nicht gegenseitig aushelfen, da jede Verbindung zwischen ihnen fehlt, was auch darin zum Ausdruck kommt, daß sie in ihrer Maschinenkammer durch einen breiten Gang vollständig von einander getrennt sind. Bei den Bewegungsvorrichtungen der Sperrthore und ihrer Schützen ist, weil das Schließen dieser Thore immer gleichmäßig erfolgen muß, der gegentheilige Grundsatz befolgt, und deshalb bilden diese auch nur soviel Gruppen, als Schleusenmauern vorhanden sind.

Die Anordnung der Maschinen und Triebwellen am Aufsen- und Binnenhaupt. Zu jeder Gruppe am Aufsen- und Binnenhaupt gehören zwei Druckwassermaschinen von je 26 Pferdekräften Nutzleistung bei 50 Atmosphären Pressung des ihnen zugeführten Druckwassers. Jede Maschine besitzt, wie die Text-Abb. 221 bis 223 zeigen, drei Cylinder, in denen sich Tauchkolben von 100 mm Durchmesser und 200 mm Hub befinden. Die Kolben wirken auf eine gemeinschaftliche Welle, deren Kurbeln um  $120^\circ$  gegen einander versetzt sind. Bei 60 Umdrehungen der Welle in der Minute und bei 50 Atmosphären Pressung des Druckwassers beträgt die Maschinenleistung 26 Pferdekräfte; die Maschinen sind jedoch so gebaut, daß sie bis 100 Umdrehungen machen können. Die Kurbelwelle ist gleichlaufend mit der Schleusenlängsachse angeordnet, die Cylinder stehen also senkrecht zu letzterer. Jeder der drei Cylinder ist mit dem zugehörigen Schiebergehäuse aus einem Gufsstück gebildet, das auf der Maschinen-Grundplatte mit Keilen und Schraubenbolzen befestigt ist. Die Schieber sind als Kolbenschieber ausgebildet, sie werden von Excentern bewegt. Quer über die drei Schiebergehäuse, also gleichlaufend mit der Kurbelwelle, sind zwei Rohre gestreckt, von denen das eine mit dem Raum vor, das andere mit dem Raum hinter dem Kolben im Inneren der drei Schiebergehäuse in Verbindung steht. Von diesen beiden Rohren ist stets das eine mit Druckwasser gefüllt, während gleichzeitig das andere mit dem Abwasser in Verbindung steht. Durch eine später zu beschreibende Umsteuerungsvorrichtung läßt sich bald das der Kurbelwelle zunächst liegende Rohr mit der Druckwasser-Zuführungsleitung und dementsprechend das zweite Rohr mit der Abwasserleitung verbinden, bald der umgekehrte Zustand herstellen. Im

ersteren Falle geht die Maschine vorwärts, im zweiten rückwärts. Die Dichtungen am Austritt der Tauchkolben aus den Cylindern und der Kolbenstangen aus den Gehäusen der Schieber bestehen aus doppelten Ledermanschetten zwischen Metallringen. Am hinteren Ende jedes Cylinders ist eine Abspritzvorrichtung angeordnet, die einem Theil des in dem Cylinder enthaltenen Wassers den Austritt gestattet, sobald der Druck im Cylinder aus irgend welchen Gründen eine unzulässige Höhe erreicht. Es wird dann ein kleines Kegelveil, das durch eine Feder auf seinen Sitz aufgedrückt wird, von diesem abgehoben, und das zu stark gedrückte Wasser spritzt durch den entstehenden, ringförmigen Schlitz ab. Die Kurbelwelle ruht in drei Lagern, deren Körper mit der Grundplatte der Maschine in einem Stück hergestellt ist. Die Grundplatte ist sehr kräftig ausgebildet, sie steht auf einem grossen Granitquader und ist überdies noch durch eine grössere Anzahl von Ankern mit dem Schleusenmauerwerk verbunden.

Die Kurbelwellen der beiden zu einer Gruppe gehörigen Maschinen stehen in allen Maschinenkammern in einer geraden Linie und sind auch in den Seitenmauern — wie die Abb. 3 auf Bl. 38 zeigt — durch eine Triebwelle verbunden. Auf dieser Triebwelle ist für jeden der beiden Thorflügel und für jedes der beiden Umlaufcanal-Schützen sowie für die drei verschiedenen Vorgelege des Spills je ein Stirnrad angeordnet, und ausserdem ist in die Welle eine lösbare Kupplung eingebaut. Ist diese Kupplung gelöst, dann setzt jede der beiden Maschinen nur den zu ihr gehörigen Theil der Triebwelle und damit auch den an diesen Theil jeweilig angekuppelten Antrieb, in Bewegung. Die Maschinen sind dann also vollständig unabhängig von einander, sodass zwei verschiedene Antriebe gleichzeitig und mit beliebig verschiedenen Geschwindigkeiten getrieben werden können. Ist dagegen die Kupplung eingerückt, dann müssen beide Maschinen mit genau der gleichen Umdrehungszahl laufen, dafür entspricht dann aber auch die Kraftleistung der Triebwelle der Arbeit beider Maschinen zusammen. Die ausrückbare Kupplung ist in den Text-Abb. 224 und 225 dargestellt. Mit jedem der beiden Wellen-Enden ist ein Gufskörper durch Keile fest verbunden, dabei das eine Wellen-Ende in dem zum zweiten Wellen-Ende gehörigen Gufskörper geführt. Dieser in der Text-Abb. 224 mit *A* bezeichnete Körper trägt auf seiner dem Körper *B* zugewandten Fläche zwei Vorsprünge, die in der Text-Abb. 225 als Knaggen *b* bezeichnet sind. An dem Gufstück *B* ist die schmiedeeiserne Klinke *E* angebracht, die sich um den Bolzen *D* drehen lässt. Ist die Klinke *E* nach dem Gufträger *A* zu umgelegt, dann greift sie bei einer

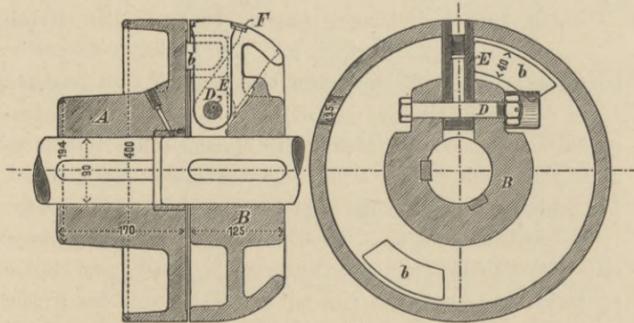


Abb. 224. Lothrechter Schnitt durch die Wellenmitte.

Abb. 225. Lothrechter Schnitt senkrecht zur Welle.

Abb. 224 u. 225. Ausrückbare Kupplung in den Triebwellen.

Drehung einer der beiden Wellen hinter eine der Knaggen *b*, und infolge dessen muss sich die zweite Welle mit der ersten zusammen bewegen, die Kupplung ist also eingerückt. Durch Umlegen der Klinke *E* in ihre zweite Endstellung, bei der die Knaggen an der Klinke vorbei können, wird die Kupp-

lung ausgerückt. Durch die Feder *F*, die in einen Theil des Umfangs des Gufskörpers *B* eingelegt ist, wird die Klinke *E* in ihren beiden Endstellungen festgehalten, sodass sie sich nicht selbstthätig umlegen kann. Soll die Klinke bewegt werden, dann wird die Feder soweit angehoben, dass die Klinke unter ihr hindurch gleiten kann. Das Anheben der Feder kann leicht mit der Hand bewirkt werden, ebenso erfordert das Umlegen der Klinke keinen grösseren Kraftaufwand, sodass das Ein- und Ausrücken der Kupplung leicht von statten geht. Wenn allerdings die Klinke und ein Knaggen fest aufeinander gedrückte sind, wie das beim Schleusenbetriebe zuweilen vorkommt, dann gestaltet sich das Umlegen der Klinke schwieriger.

In den Maschinenkammern der Mittelmauern musste die Anordnung infolge der anderweitigen Lage der Umlaufcanäle und der Spille zu den Antrieben der Thorflügel etwas anders gewählt werden. Hier trägt die Kurbelwelle jeder Druckwassermaschine — siehe hierzu Abb. 1 u. 2 auf Bl. 37 — ein Stirnrad, und dieses greift in ein zweites Stirnrad ein, das auf eine von dem Antrieb für den Fluththorflügel bis zum Antrieb für den Ebbethorflügel durchgehende Triebwelle aufgekeilt ist. Auf dieser Welle, in die ebenso wie in den Seitenmauern eine ausrückbare Kupplung eingebaut ist, befindet sich wieder für jeden Antrieb und für jedes Vorgelege des Spills ein Stirnrad. Die Anordnung der Maschinen und der Triebwellen mit ihren Lagern und Kupplungen, sowie die Lage der Antriebe und des zugehörigen Spilles ist aus den Abb. 1 u. 2 auf Bl. 37 und Abb. 3 auf Bl. 38 so deutlich zu ersehen, dass sich ein weiteres Eingehen auf die Einzelheiten erübrigt. Dabei ist in Abb. 3 auf Bl. 38 nur der Grundriss einer in einer Seitenmauer in Holtenau befindlichen Gruppe gegeben, während die Abb. 1 u. 2 auf Bl. 37 auch das am Ende der Mittelmauer aufgestellte Spill mit umfassen und die Lage dieses Theiles bezw. der zugehörigen Druckwassermaschine und seines Antriebes zu den übrigen Maschinen, Triebwellen usw. am Binnenhaupt der Holtenauer Schleuse ersehen lassen. Die zu den Spillen an den Enden der Schleusenmauern gehörigen Druckwassermaschinen leisten 40 Pferdekkräfte. Sie stimmen in ihrer Bauart mit den kleineren Maschinen vollständig überein, nur sind die Tauchkolben 116 mm statt 100 mm stark, und dementsprechend mussten auch die Abmessungen mancher Einzeltheile vergrößert werden.

Die Antriebe der Ebbe- und Fluththore. Wie bereits bei der Beschreibung der Thore mitgeteilt worden ist, erfolgt die Bewegung der Thorflügel mit Hilfe von Zahnstangen. Von der Verwendung von Ketten wurde Abstand genommen, weil zum Öffnen und Schliessen eines Thorflügels zwei getrennte Ketten nothwendig sind, von denen die eine die Schleusenöffnung kreuzen muss, und weil infolge des Durchhängens der Ketten und des daraus sich ergebenden unvermeidlichen todtten Ganges das Festhalten der Thore in einer bestimmten Stellung unmöglich ist. Hierauf wurde aber besonders bei den Fluththoren der Brunsbütteler Schleusen, die dem Winde eine sehr grosse Angriffsfläche bieten, grosser Werth gelegt. Bei der Verwendung von Zahnstangen in Verbindung mit einem Schneckenantrieb war infolge der Selbstsperrung der Schnecke volle Sicherheit gegeben, dass die Thorflügel keinerlei unbeabsichtigte Bewegung machen können, und dieser Vortheil entschied für die Wahl der Zahnstangen. Dieselben Zwecke, die durch die Verwendung der Zahnstangen verfolgt wurden, hätten sich auch erreichen lassen, wenn zur Bewegung der Thorflügel Kolben verwandt worden wären, die durch Druckwasser in Cylindern verschoben werden. Die Mittelmauer war für eine solche Ausbildung der Bewegungsvorrichtung jedoch nicht breit genug, auch würde die

Lagerung zweier Cylinder über einander, wie sie in der Mittelmauer erforderlich gewesen wäre, und die Verankerung derselben außerordentliche Schwierigkeiten gemacht haben, und deshalb konnte von dieser sonst der Natur des Druckwasserbetriebes am besten entsprechenden Anordnung kein Gebrauch gemacht werden. Sämtliche in den Schleusen in Brunsbüttel und Holtenau verwandten Zahnstangen sind einander gleich, und zwar sind sie so bemessen, daß sie Druckkräften von 20 t gegenüber ausreichende Sicherheit bieten. Die Spannungen, die beim Bewegen der Thorflügel von den Zahnstangen aufzunehmen sind, bleiben gewöhnlich ganz erheblich unter diesem Maß. Wenn z. B. die Fluththore in Holtenau bei gewöhnlichem Canalwasserstande gegen einen Winddruck von 50 kg/qm der Thorfläche geöffnet oder geschlossen werden sollen, dann entstehen in den Zahnstangen nur Spannungen von rund 3,5 t. Eine Druckbeanspruchung der Zahnstangen von 20 t entsteht nur dann, wenn die Fluththore in Brunsbüttel bei dem niedrigsten zulässigen Canalwasserstande — also + 18,50 — geschlossen sind, auf der Vorderseite noch keinen Wasserdruck aufzunehmen haben und auf der Rückseite von Windstößen getroffen werden, die einem Druck von 150 kg auf 1 qm Thorfläche entsprechen.

Die Verbindung der Zahnstangen mit den Thorflügeln ist bereits bei der Beschreibung der Thore erörtert worden, an dem anderen Ende sind die Zahnstangen mit Führungsrollen versehen. Die Bewegung der Zahnstangen und damit der Thorflügel erfolgt durch

ein Trieb, das in die Zahnstange eingreift und sie je nach seiner Drehungsrichtung entweder in den im Schleusenmauerwerk für die Stange ausgesparten Canal hineinzieht oder aus demselben herausdrückt. Dieses Trieb (Abb. 4 u. 5 auf Bl. 39) bildet mit dem unteren Theil einer lothrecht stehenden Welle ein Stück und ist aus Gußstahl angefertigt. Der obere Theil der stehenden Wellen ist bei den verschiedenen Thoren und bei den Schleusen in Holtenau und Brunsbüttel je nach der Höhenlage der Zahnstangen und des Fußbodens der Maschinenkammern verschieden lang und zum Theil aus mehreren Stücken zusammengesetzt. Allen Thorantrieben, auch denen der Sperrthore, ist eine Führung der stehenden Welle nahe ihrem oberen Ende und oberhalb des Fußbodens der zugehörigen Maschinenkammer gemeinsam. Diese Führung erfolgt durch eine in den Boden eines gußeisernen Kastens eingebaute Stopfbüchse. Oberhalb der Führung trägt die stehende Welle ein Schneckenrad, das durch eine in den Kastenwänden gelagerte Schnecke angetrieben wird. Das eine Ende der Schneckenwelle ist über den Kasten hinaus verlängert und trägt hier in den Maschinenkammern der Mittelmauer ein Stirnrad, in das ein zweites Stirnrad, das oben bereits erwähnt worden ist und sich auf der vom Fluththorantrieb bis zum Ebbethorantrieb durchgehenden Triebwelle befindet, eingreift. Dieses zweite Triebrad ist mit seiner Welle durch eine ausrückbare Kupplung verbunden. Ist diese Kupplung gelöst, dann kommt die Zahnstange nicht in Bewegung, wenn auch die Triebwelle gedreht wird. In den Seitenmauer-Maschinenkammern ist das über den Kasten hinausragende Ende der Schneckenwelle durch eine feste Kupplung mit einer kurzen Triebwelle verbunden, die am anderen Ende in einem Stehager ruht.

Dicht neben diesem Lager befindet sich auf der Welle ein fest mit ihr verbundenes Stirnrad, das in ein zweites, auf der die beiden Druckwassermaschinen verbindenden Triebwelle befindliches Stirnrad eingreift. Dieses letztere Rad ist mit seiner Welle durch eine ausrückbare Kupplung verbunden. Ist die Kupplung gelöst, dann bleibt das Stirnrad auch dann stehen, wenn seine Welle gedreht wird und der Thorflügel wird nicht bewegt.

Jede Zahnstange besteht, wie die Text-Abb. 226 u. 227 zeigen, aus zehn Theilen, nämlich aus einer oberen und einer unteren schmiedeeisernen Decklasche und aus acht aus Gußstahl angefertigten kurzen Zahnstangenstücken. Diese letzteren Stücke sind an ihren Enden sehr sorgfältig bearbeitet, sodafs sie sich mit den Endflächen satt berühren, und werden durch die beiden Decklaschen, mit denen sie durch kalt eingetriebene Nieten verbunden sind, zu der Zahnstange vereinigt. Infolge dieser Ausbildung ist der Querschnitt der Decklaschen für die Zugfestigkeit der Zahnstangen allein maßgebend, während Druckkräfte auch von den einzelnen Gußstahltheilen übernommen werden können. — Die Canäle, in denen sich die Zahnstangen innerhalb des Schleusenmauerwerks bewegen,

sind theils aus dem Mauerwerk ausgespart, theils haben sie aus verzinktem Schmiedeeisen gebildete Wände, Böden und Decken erhalten. In den Seitenmauern ist bei jedem Thor nur ein Canal nothwendig, in der Mittelmauer mußten jedoch aus den bereits früher angegebenen Gründen zwei Canäle über einander angelegt werden.

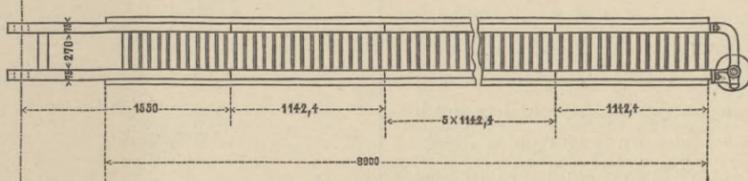


Abb. 226. Ansicht.

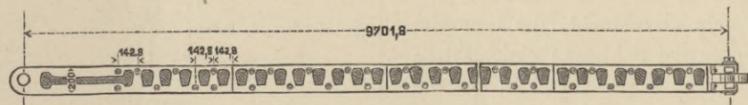


Abb. 227. Wagerechter Schnitt.

Abb. 226 u. 227. Zahnstange zum Antrieb der Thore.

den. Die Höhe des unteren Zahnstangen-Kastens ist dort so gering bemessen, wie es die Zahnstange nebst ihren Endführungsrollen und die Rücksicht auf die Besteigbarkeit des Kastens durch Menschen zuließ. Die oberen Kasten in der Mittelmauer und die Canäle in den Seitenmauern haben in Brunsbüttel durchgängig eine Höhe von 1,70 m erhalten, in Holtenau liegt die aus verzinktem Riffblech gebildete Decke der Canäle am Außen- und Innenhaupt mit Ausnahme der unteren Kasten der Mittelmauer in gleicher Höhe mit dem Fußboden der Maschinenkammern. Die lichte Höhe der Canäle ist infolge dessen und wegen der verschiedenen Höhenlage der Zahnstangen bei den Ebbe- und Fluththoren verschieden. Die Breite der Canäle mußte so gewählt werden, daß das freie Ende der Zahnstangen bei allen Thorflügelstellungen ausreichenden Raum in dem Canal findet. Die Zahnstangen sind an den Thorflügeln drehbar befestigt und bewegen sich mit diesem Ende beim Oeffnen und Schließen der Thore auf einem Kreisbogen, dessen Mittelpunkt in der Senkrechten durch die Mitte des Hals- und des Sperrzapfens liegt. Dicht hinter der Vorderflucht der Thornische befindet sich das die Zahnstange bewegende Triebrad, mit dem die Stange stets in Eingriff bleiben muß. Um diesen Eingriff zu sichern, ist auf der dem Triebbad gegenüber liegenden Seite der Zahnstange eine Gegenrolle vorgesehen, die so angeordnet ist, daß die Mitte der Zahnstange von der Mitte des Triebwerks in den äußersten Stellungen nur geringe Entfernungsunterschiede haben kann. Unter diesen Umständen muß sich das freie Ende der Zahnstange nach der gekrümmten Linie bewegen, deren Gestalt aus den Abb. 2 u. 3 auf Bl. 39 zu ersehen ist. Der Verlauf dieser Linie wurde durch Versuche festgestellt. Das

freie Ende der Zahnstange wird durch eine an ihr angebrachte Rolle getragen, die sich auf einer Führungsschiene mit trapezförmigem Querschnitt bewegt. Wie die Text-Abb. 228 u. 229 zeigen, sind außerdem noch zwei kleine, schräggestellte Rollen vorgesehen, die auf den geneigten Seitenflächen der Führungsschiene laufen und die richtige Stellung

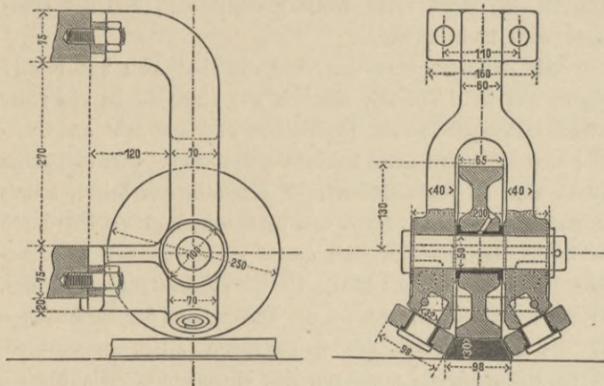


Abb. 228. Seitenansicht.

Abb. 229. Ansicht von hinten und lothrechter Schnitt.

Abb. 228 u. 229. Hintere Rollenführung der Zahnstangen. 1:10.

des hinteren Zahnstangen-Endes sichern und damit zugleich auch auf den guten Eingriff des Triebrades hinwirken sollen. Die Führungsschiene liegt in dem oberen Zahnstangenkasten der Mittelmauer auf der die Decke des unteren und zugleich den Boden des oberen Kastens bildenden wagerechten Blechwand auf und ist mit ihr durch versenkte Stiftschrauben verbunden. Bei allen übrigen Canälen ist die Führungsschiene mit einzelnen Blechtafeln verschraubt, die ihrerseits mit je zwei, mit der Längsachse der Schleusen gleichlaufenden T-Eisen vernietet sind. Diese T-Eisen sind in das die Sohle des Canals bildende Mauerwerk eingelassen und ragen beiderseitig über die Breite des Canals hinaus, sodafs sie sich mit ihren Enden im vollen Schleusenmauerwerk befinden. Die Breite der Mittelmauer beträgt an den Thornischen 9,50 m und übertrifft die Länge der Zahnstangen nur um ein wenig. Die Zahnstangenkasten gehen deshalb hier durch die ganze Mauerbreite durch. Die Abb. 1 bis 7 auf Bl. 39 stellen den Zahnstangenkasten in der Mittelmauer am Außenhaupt der Schleusen in Brunsbüttel dar. Bei den Seitenmauern mußten die landseitigen Enden der Zahnstangen-Canäle durch ausgekragte Mauertheile gebildet werden. In diese Canäle gelangt man durch lothrechte Schächte von der Oberfläche der Schleusenmauern aus; die Zahnstangenkasten der Mittelmauer sind von dem hinteren Ende aus zugänglich. Die hintere senkrechte Wand wird nämlich theilweise durch eine Klappe gebildet, die sich um ein Gelenk drehen läßt und dann nahezu die ganze Breite des Kastens und eine für das Hineinkriechen ausreichende Höhe frei giebt. Selbstverständlich muß der Thorflügel, der den Zugang zu dem Zahnstangenkasten deckt, solange er in seiner Nische liegt, ausgefahren sein. Gewöhnlich sind die Klappen geschlossen und an den Wänden durch einige Stiftschrauben mit dem Kasten verbunden.

Das in die Zahnstange eingreifende Triebbad nebst der zugehörigen stehenden Welle ist in einem aus verzinktem Schmiedeeisen hergestellten Schacht untergebracht, dessen unterer Theil mit dem Zahnstangenkasten zusammengebaut ist. Der Schacht reicht bis über den Fußboden der Maschinenkammer und trägt oben den bereits erwähnten Kasten, in dem sich die Schnecke und das Schneckenrad befindet. Die Bodenplatte jedes Schachtes und des vorderen Theiles des zu ihm gehörigen Zahnstangenkastens sind aus einem Blech gefertigt, die Bodenplatten der beiden, zu einem doppelten Zahnstangenkasten der Mittelmauer gehörigen Schächte liegen dementsprechend verschieden hoch. In der mit der Vorder-

flucht der Thornische zusammenfallenden Schachtwand ist eine mit einer Klappe verschließbare Oeffnung angeordnet, die das Einsteigen in den Schacht ermöglicht. Die hierin angebrachten Steigeeisen erleichtern die Untersuchung der Welle, ihrer Kupplungen und der Stopfbüchse. Auf dem Bodenblech der Schächte liegt das aus den Abb. 1 bis 5 auf Bl. 39 ersichtliche Spurlager der stehenden Wellen auf. Wenn beim Oeffnen der Thore infolge zu schneller Thorbewegung Stöße auf die Zahnstange und damit auch auf das Triebbad einwirken, dann werden sie durch das Spurlager auf die den Schacht umgebenden Mauermassen übertragen. Treten beim Schließen der Thore aus der gleichen Ursache Stöße auf, dann hat die Zahnstange das Bestreben, das Triebbad mit

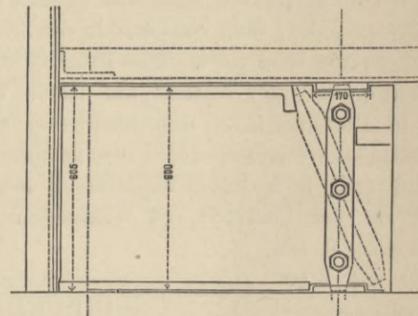


Abb. 230. Ansicht des Lagerkörpers von der Schleuse aus.

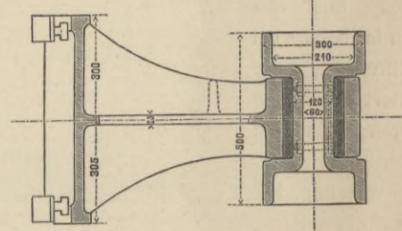


Abb. 231. Lothrechter Schnitt durch Gegenrolle und Lagerkörper.

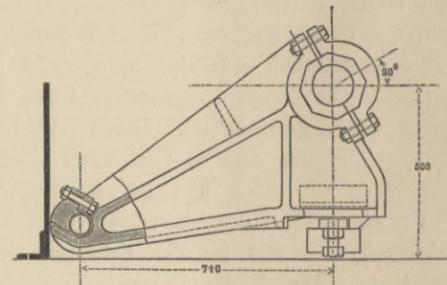


Abb. 232. Oberansicht auf den Lagerkörper und wagerechter Schnitt.

Abb. 230 bis 232. Gegenrolle nebst Lager für die Zahnstangen. 1:20.

dem Spurlager und dem Schacht aus dem Schleusenmauerwerk herauszureißen. Um Bewegungen des Schachtes unter dem Einfluß solcher Kraftäußerungen zu verhindern, ist das Spurlager durch einen schleifenförmig gebogenen Doppelanker aus Flacheisen mit dem Schleusenmauerwerk verbunden. Die Anordnung dieser Anker ist ebenfalls aus den Abb. 1 bis 5 auf Bl. 39 zu ersehen; die Muttern der Anker sind von dem Inneren der Zahnstangenkasten aus zugänglich, sodafs sie jederzeit nachgezogen werden können.

Die Gegenrolle, die den Eingriff der Zahnstange und des Triebrades sichern soll, ist in der Text-Abb. 231 dargestellt. Die Rolle steht senkrecht und hat in ihrer Mitte eine Einschnürung, sodafs nur der breitere obere und untere Theil mit den Decklaschen der Zahnstangen in Berührung kommt. An der Einschnürung befindet sich das Lager der Rolle, das von einem gußeisernen Körper gebildet wird, der seinerseits um eine senkrechte Achse drehbar, an dem Zahnstangenkasten befestigt ist. Der Lagerkörper der Gegenrolle wird durch die aus den Text-Abb. 230 u. 232 ersichtlichen

Vorkehrungen in solcher Lage erhalten, daß die Gegenrolle ihren Zweck erfüllen kann; er kann aber auch nach entsprechender Einstellung des Sicherungsstabes um seine lothrechte Achse derartig gedreht werden, daß er den Zugang zu dem Zahnstangenkasten frei giebt. Das Herausdrehen des Lagerkörpers ist jedoch nur dann möglich, wenn der Thorflügel am Drempel liegt oder sich nahezu in dieser Stellung befindet. Bei den übrigen Thorlagen läßt sich der Lagerkörper nicht herausdrehen, weil dann die Gegenrolle an der Zahnstange nicht vorbei kommen kann.

In der vorderen Endwand der Zahnstangenkasten mußte eine Oeffnung für den Durchgang der Zahnstange und für das Herausdrehen des Lagerkörpers der Gegenrolle und der Gegenrolle selbst frei gelassen werden. Der vor dem Lagerkörper sich befindende Theil dieser Oeffnung wird durch den Zahnstangenkasten selbst soweit geschlossen, daß der Zahnstangenkasten dort vor dem Eintreiben von Verunreinigungen gesichert ist; um dieses auch an der Zahnstange zu erreichen, ist daselbst ein Schieblech angeordnet, das zwischen Gleitbahnen laufend von der Zahnstange selbst verschoben wird und so breit gemacht worden ist, daß es die ganze Oeffnung bei jeder Stellung der Zahnstange deckt. Diese Schiebleche haben sich besonders in der ersten Zeit nach der Inbetriebnahme der Schleusen, als noch die Bauarbeiten am Kaiser Wilhelm-Canal und den Aufsen- und Binnenhäfen in vollem Gange waren und im Wasser außerordentlich viel treibende Gegenstände waren, sehr bewährt. Die Schiebleche sind auf Bl. 39 nicht dargestellt.

Die einzelnen Theile der stehenden Wellen sind durch Flanschen mit einander verbunden; die Wellen sind wie alle Theile der Bewegungsrichtungen der Schleusen sehr kräftig gehalten. Trotzdem sind sowohl in Brunsbüttel als auch in Holtenau bei den Wellen der Fluththore Brüche vorgekommen. Die Veranlassung zu diesen Brüchen, die stets während der Bewegung der Thorflügel eintraten, sind nicht ganz aufgeklärt. In einem Falle ist wohl mit Sicherheit nachgewiesen, daß der Wellenbruch infolge eines beim Betriebe gemachten Fehlers eingetreten ist. Der das Absperrventil der Druckwassermaschine bedienende Mann hatte dieses nämlich zu lange offen gelassen und es kurz vor dem Anschlagen des Thorflügels an den Drempel plötzlich geschlossen, weil er fürchtete, das Thor könne bei dem infolge der schnellen Bewegung des Flügels ungewöhnlich harten Anschlagen Schaden leiden. Die der Masse des Thorflügels und des in ihm enthaltenen Wassers entsprechende lebendige Kraft mußte, da die Druckwassermaschine und damit auch die Schnecke und das Schneckenrad festgestellt waren, außerdem das Schneckengetriebe auch selbstsperrend ist, im wesentlichen von dem Anschluß der Zahnstange am Thorflügel, der Zahnstange selbst und dem Triebrad mit der stehenden Welle durch Formänderungsarbeit vernichtet werden. Den dabei auf diese Theile einwirkenden Kräften gegenüber hatte die stehende Welle nicht genügende Widerstandsfähigkeit und brach daher, während die übrigen Theile keinen erkennbaren Schaden erlitten. Bei den weiteren drei Wellenbrüchen konnte die Ursache nicht festgestellt werden, und es trat deshalb die Vermuthung auf, daß während des Schließens der Thore zuweilen plötzliches Ansteigen des Wasserspiegels vor den Thoren eintreten könne, das sich durch den verhältnißmäßig engen Spalt, der besonders dann zwischen den Thorflügeln nur vorhanden ist, wenn diese sich bereits nahe dem Drempel befinden, nicht in die Schleuse bzw. den Binnenhafen fortsetzen könne. Solches Ansteigen kann durch sogenannte Dünungen und durch die Bugwelle rasch fahrender Schiffe, selbst wenn die Schiffe in ziemlich weiter Entfernung an der Schleuse vorbeifahren, veranlaßt werden.

Der dadurch hervorgerufene Wasserstandsunterschied vor und hinter dem Thor kann erhebliche Wasserüberdrucke auf die Thorfläche hervorbringen und so zu Beschädigungen der Bewegungsrichtungen führen. Die mit den stehenden Wellen gemachten Erfahrungen veranlaßten zwei Abänderungen an den Thorantrieben, von denen die eine sich auf die Schneckenräder, die andere auf die Wellen selbst bezieht. Die Wellen bestanden nämlich anfänglich mit Ausnahme des untersten, das Triebrad enthaltenden Theiles aus Gußeisen, sie wurden nach dem Eintritt der Brüche durch gußstählerne ersetzt, sodafs jetzt die stehenden Wellen in allen ihren Theilen aus diesem Baustoff bestehen. Die zweite Abänderung bestand darin, daß in die Schneckenräder eine Reibungskupplung eingebaut wurde, die bei Zahnstangenspannungen von mehr als 20 t in Wirksamkeit kommt und somit das Auftreten größerer als die der Berechnung der Bewegungsrichtungen zu Grunde gelegten Kräfte in den Gliedern der Antriebe unmöglich macht.

Die Schnecke und das Schneckenrad sind, wie oben bereits kurz erwähnt worden ist, in einem gußeisernen Kasten untergebracht, der oben auf den Schacht für die stehende Welle aufgesetzt ist. Aus den Abb. 4 und 5 auf Bl. 39 ist zu ersehen, daß mit den Schachtwandungen zunächst ein gußeiserner Kranz vernietet und der Kasten mit diesem Kranz verschraubt ist. In den Boden des Kastens ist ein gußeiserner Stopfbüchsenkörper eingebaut, während die Stopfbüchse selbst aus Metall besteht. Oberhalb des Durchganges durch den Boden des Kastens trägt die stehende Welle das Schneckenrad, das durch Nasenkeile fest mit ihr verbunden ist. Jedes Schneckenrad besteht aus drei Theilen, nämlich dem Nabenkörper, dem Zahnkranz und dem zwischen diesen beiden Theilen liegenden Reibungsring. Die Text-Abb. 233 zeigt einen Querschnitt durch das Schneckenrad.

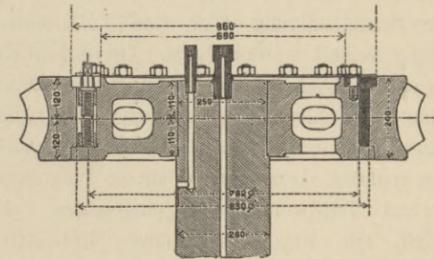


Abb. 233. Querschnitt durch das Schneckenrad des Thorantriebes. 1:20.

Während der Nabenkörper und der Zahnkranz aus Gußeisen hergestellt sind, besteht der Reibungsring aus Stahl. Das Anpressen des Ringes an den Zahnkranz wird durch zwei über einander angeordnete Keile bewirkt, die von einem gemeinschaftlichen und auf die halbe Länge je mit Rechts- und mit Links-Gewinde versehenen Schraubenbolzen getragen werden. Der Schraubenbolzen endigt oberhalb eines über dem Reibungsring angeordneten und sowohl über je einen schmalen Streifen des Zahnkranzes als auch des Nabenkörpers hinwegreichenden Schutzringes in einem Vierkant, der das Drehen des Schraubenbolzens ermöglicht. Wird der Schraubenbolzen in der einen Richtung gedreht, dann nähern sich die beiden Keile einander, und dadurch wird der Reibungsring stärker an den Zahnkranz angepresst, und die Kupplung wirkt erst bei größeren Zahnstangen-Spannungen. Wird der Schraubenbolzen in der anderen Richtung gedreht, dann entfernen sich die beiden Keile von einander, und die Anpressung des Reibungsringes wird kleiner. Ein Ueberfall gestattet es, den Schraubenbolzen nach jeder Vierteldrehung festzustellen, sodafs er nicht selbstthätig in Drehung kommen und damit die Anpressung des Reibungsringes in unzulässiger

Weise verändern kann. Der Schutzring ist auf dem Nabenkörper durch eine größere Anzahl von Stiftschrauben befestigt.

Die Schnecke besteht aus Gufsstahl. Sie liegt ebenso wie das Schneckenrad wagerecht und ist an der einen Kastenwand in einem Spurlager, an der anderen in einem Halslager, das in einem Ausschnitt dieser Wand angeordnet ist, gelagert. Die wagerechten Kräfte der Schnecke werden bei der einen Bewegungsrichtung derselben von dem Spurlager aufgenommen, bei der anderen aber durch einen Stellring auf das Halslager übertragen. Von den Schneckengetrieben, die zu zwei ein Thor bildenden Thorflügeln gehören, ist stets das eine linksgängig, das andere rechtsgängig. Das wird dadurch veranlaßt, daß sich sämtliche Thorantriebe räumlich zwischen dem Thorflügel und der treibenden Druckwassermaschine befinden, somit die zu einem Thore gehörigen beiden Antriebe sich wie Spiegelbilder zu einander verhalten müssen. Die Kästen, in denen sich die Schneckengetriebe befinden, werden stets bis zu solcher Höhe mit einer ziemlich steifen, aus gemahlenem Graphit, Seifenwasser und den beim Betriebe der Central-Maschinenanlage gewonnenen Abtropfölen zusammengesetzten Schmiere gefüllt gehalten, daß die untere Hälfte der Schnecke und des Schneckenrades vollständig in diese Schmiere eintaucht.

Auf das über den Kasten hinausragende Ende der Schneckenwelle ist, wie oben bereits mitgetheilt worden ist, in den Maschinenkammern der Mittelmauer ein Stirnrad aufgesetzt, das in ein zweites, auf der von Thorantrieb zu Thorantrieb reichenden Triebwelle sitzendes Stirnrad eingreift. Die Zähnezahlen der beiden Räder verhalten sich wie ungefähr 84 zu 100. Da jedes der beiden Räder so eingerichtet ist, daß es sowohl mit der Schneckenwelle als auch mit der Triebwelle verbunden werden kann, so können beide Räder mit einander vertauscht werden, wodurch beliebig eine Beschleunigung oder eine Verlangsamung der Thorbewegung erzielt werden kann. Diese Einrichtung ist getroffen worden, weil in den ersten Zeiten nach der Inbetriebnahme der Schleusen die Reibungswiderstände in den Thorantrieben und ebenso auch in den übrigen Antrieben größer sein mußten als später, wenn die Vorgelege, Uebersetzungen und Triebwellen sich eingelaufen haben. Es empfahl sich, zur Ausgleichung dieses Unterschiedes das Vorgelege der Thorantriebe während der ersten Betriebsmonate so zu stellen, daß die Thorbewegung langsamer, aber unter dementsprechend größerer Kraftäufserung erfolgt. Nachdem sich Alles eingelaufen hatte, wurden die Räder vertauscht, sodaß nunmehr das Oeffnen und Schließen der Thorflügel in der vorgeschriebenen Zeit von 110 Secunden erfolgt. Das obere Stirnrad ist auf der Schneckenwelle fest verkeilt, das untere jedoch mit der Triebwelle durch eine ausrückbare Kupplung verbunden. Diese Kupplung ist ebenso ausgebildet wie die Kupplungen in den Triebwellen, jedoch tritt an die Stelle des Gufskörpers *A* das Zahnrad selbst, das zu dem Zweck mit zwei Knaggen versehen ist. Außerdem ist das Zahnrad nicht mit der Welle verkeilt, sondern es sitzt lose auf ihr, sodaß es nur dann in Bewegung kommt, wenn die Kupplung eingerückt, also die Klinke nach dem Zahnrade zu umgelegt ist.

In den Seitenmauern schließt an die Schneckenwelle eine kurze, wagerechte Triebwelle mittels einer Scheibenkupplung an. Auf dem von dem Kasten für das Schneckengetriebe abgekehrten Ende sitzt ein Stirnrad, das in ein zweites, auf der die beiden Druckwassermaschinen verbindenden Triebwelle angebrachtes Stirnrad eingreift. Auch die Zähnezahlen dieser beiden Räder stehen in dem Verhältniß wie ungefähr 84 zu 100, und die Räder sind so ein-

gerichtet, daß sie gegen einander vertauscht werden können. Das jeweilig auf der die Druckwassermaschinen mit einander verbindenden Triebwelle sitzende Rad wird mit dieser durch eine ausrückbare Kupplung verbunden. Von den beiden Stirnrädern hat das eine hölzerne, leicht auswechselbare Zähne erhalten, deren Querschnitt so bemessen ist, daß bei etwa unvermuthet im Getriebe auftretenden Widerständen die hölzernen Zähne brechen, während das zweite Rad unbeschädigt bleibt. In der Mittelmauer hat das eine der beiden sonst gleich großen Stirnräder, die auf der Kurbelwelle der Druckwassermaschinen einerseits und der von Thorantrieb zu Thorantrieb durchgehenden Triebwelle andererseits sitzen, aus dem gleichen Grunde Holzzähne erhalten.

Mittels des im vorstehenden beschriebenen Antriebes ist eine Druckwassermaschine von 26 Pferdekräften und 60 Umdrehungen in der Minute imstande, einen Thorflügel in 110 Secunden gegen einen während der ganzen Dauer der Bewegung gleichmäßig auf die Thorflügel wirkenden Winddruck von 50 kg/qm zu öffnen oder zu schließen. Da bei einem Sturme, der diesem Druck auf die Flächeneinheit entspricht, die Schifffahrt in dem immerhin engen Fahrwasser des Canals unterbrochen sein wird, so liegt dann auch das Bedürfniß zum Schließen kaum mehr vor; es ist also eine der beiden in jeder Maschinen- und Antriebsgruppe vorhandenen Druckwassermaschinen in der Lage, bezüglich der Thorbewegungen den Anforderungen der Schifffahrt an den Schleusenbetrieb unter allen Umständen gerecht zu werden. Demnach wird es nur unter ganz besonderen Umständen, die überdies nicht unmittelbar mit dem Schifffahrtsbetriebe zusammenhängen, nothwendig sein, die beiden zu jeder Gruppe gehörigen Druckwassermaschinen gemeinschaftlich für die Bewegung der Thorflügel zu verwenden, und somit wird die Kupplung in der die beiden Druckwassermaschinen verbindenden Triebwelle unter allen gewöhnlich vorkommenden Betriebsverhältnissen gelöst sein. Wenn beide Maschinen betriebsfähig sind, dann kann also die eine mit dem Thorantrieb verbunden sein, während die andere das Heben und Senken des Umlaufcanal-Schützes bewirkt. Bei ruhigem Wetter sind sehr viel kleinere Kräfte zum Bewegen der Thorflügel ausreichend, und deshalb ist eine Vorrichtung getroffen, die es ermöglicht, jede Druckwassermaschine mit der Hälfte des Drucks zu betreiben, der dem Betriebswasser der Bewegungsvorrichtungen in der Central-Maschinenanlage ertheilt wird. Zu dem Zweck wird nur der in der Mittelmauer aufgestellten Druckwassermaschine Wasser von 50 Atmosphären Pressung zugeführt. Das Wasser versetzt die Maschine in Bewegung, giebt dabei jedoch nur einen Theil seiner Pressung ab und wird mit der ihm verbleibenden Pressung durch eine besondere, an die Maschine der Mittelmauer angeschlossene Rohrleitung — Hintereinanderschaltleitung genannt — durch die Tunnel unter den Schleusen nach der in der Seitenmauer aufgestellten, den zweiten Flügel des betreffenden Thores bewegenden Maschine geleitet. Es durchströmt diese Maschine, sie in Bewegung setzend, und fließt hinter derselben entweder — wie in Holtenau — nach der Schleuse ab, oder — wie in Brunsbüttel — durch die Rücklaufleitung nach den Wasserbehältern im Accumulatorenthurm der Central-Maschinenanlage. Solche Hindereinanderschaltleitungen sind am Aufsen- und Binnenhaupt überall zwischen zwei zu einander gehörige, in der Mittelmauer und der Seitenmauer stehende Maschinen eingebaut, sodaß die beiden Flügel jedes Thores und ebenso die in derselben Querachse der Schleuse befindlichen, zu einer Kammerschleuse gehörigen beiden Umlaufcanal-Schützen durch hintereinander geschaltete Maschinen bewegt werden können. Da der Durchmesser und der Hub der Kolben bei je zwei solcher Maschinen genau gleich

ist, so muß eine Druckwassermenge, welche die Mittelmauermaschine in eine bestimmte Zahl von Umdrehungen versetzt, auch in der Seitenmauermaschine genau dieselbe Zahl von Umdrehungen veranlassen. Da ferner die Antriebe zweier Thorflügel und die von den Thorflügeln zurückzulegenden Wege, ebenso auch die Antriebe und die Wege von zwei Schützen mit einander übereinstimmen, so müssen durch zwei hintereinander geschaltete Maschinen auch zwei mit ihnen zusammengekuppelte Umlaufcanal-Schützen vollständig gleichmäßig bewegt, also gleichzeitig in die Endstellung gebracht werden. Vorbedingung hierfür ist allerdings, daß die Druckwassermenge, die der Mittelmauermaschine aus der Druckrohrleitung durch Öffnen des Absperrventils in dieser Leitung zugeführt wird, unverkürzt und ebenso unvermehrt in die Seitenmauermaschine gelangt. Die Hintereinanderschaltleitung muß also vollständig dicht sein; und dies muß auch bei den verschiedenen, später näher zu besprechenden Steuer- und Schaltvorrichtungen, durch die das Druckwasser hindurchzufließen hat, der Fall sein. Dagegen braucht der Widerstand, den jeder der beiden Thorflügel oder jedes der beiden Schützen der Bewegung entgegengesetzt, keineswegs gleich zu sein, es genügt vielmehr, wenn die beiden Widerstände zusammen in jedem Augenblick der Bewegung kleiner sind als die Kraftleistung der beiden hintereinandergeschalteten Maschinen. Sobald nämlich, um ein Beispiel anzuführen, der Widerstand des von der Seitenmauer aus bewegten Thorflügels größer wird als der des von der Mittelmauer aus bewegten Flügels, wird auch die Spannung des in der Seitenmauermaschine wirkenden Wassers zunehmen und in der Mittelmauermaschine der Verbrauch an Wasserpressung dementsprechend abnehmen müssen, da sonst eine gleichmäßig schnelle Bewegung der beiden Thorflügel nicht möglich ist. So lange also die Summe der Widerstände der beiden Thorflügel kleiner ist als die Kraftleistung der hintereinandergeschalteten Maschinen, wird der Verbrauch an Pressung in jeder der beiden Maschinen sich genau nach dem jeweiligen Widerstande des von der Maschine zu bewegenden Thorflügels richten, also fortwährend hin und her schwanken.

Die Antriebe der Umlaufcanal-Schützen. In der Unterabtheilung b dieses Abschnittes S. 35 ist bereits mitgeteilt worden, daß die Schützen durch Stirnräder bewegt werden, die in eine an dem Schütz angebrachte Zahnstange eingreifen und je nach ihrer Drehungsrichtung das Schütz entweder heben oder senken. Das ebenso wie die Zahnstange sehr kräftig ausgeführte Stirnrad ist auf eine wagerecht liegende Welle aufgekeilt, die durch drei auf der Sohle der Schützengrube aufgestellte Lager unterstützt wird. Zwei dieser Lager befinden sich, wie die Text-Abb. 209 bis 211, in denen die Schützenantriebe zur Darstellung gebracht sind, zeigen, rechts und links von dem Stirnrad und dienen zugleich, wie ebenfalls oben bereits erwähnt worden ist, zur Verbindung der den Stoß eines zu weit nach oben gefahrenen Schützes aufnehmenden Rundeisenstangen mit dem Schleusenmauerwerk. Den gleichen Zweck zu erfüllen haben auch die beiden Lager der dem Stirnrad gegenüber auf der anderen Seite des Schützes angeordneten Gegenrolle, die einen stets guten Eingriff des Triebrades in die Zahnstange an der Schütztafel herbeiführen soll. Das dritte, zur Unterstützung der wagerechten Welle vorgesehene Lager befindet sich an deren Ende. Der Lagerkörper ist so ausgebildet, daß er zugleich das Spurlager für eine stehende Welle aufnehmen kann. Die wagerechte und die stehende Welle tragen je ein Kegelrad und stehen durch dieses Getriebe mit einander in Verbindung. Die stehende Welle ist in ähnlicher Weise wie die entsprechenden Wellen der Thor-

antriebe an ihrem oberen Ende in einer Stopfbuchse geführt, die in den Boden eines gußeisernen Kastens eingebaut ist, und trägt oberhalb der Stopfbuchse ein mit ihr fest verkeiltes Schneckenrad, in das wiederum eine Schnecke eingreift. Der Kasten ist auf zwei Paar U-Eisen, die mit der Schleusenlängsachse gleichlaufend über die Schützengrube gestreckt und mit dem Schleusenmauerwerk kräftig verankert sind, gelagert und mit ihnen derartig verschraubt, daß er die auf ihn einwirkenden wagerechten und lothrechten Kräfte mit Sicherheit auf die U-Eisen überträgt. Die Schnecke ist in den Seitenwänden des gußeisernen Kastens gelagert und durchdringt dessen eine Wand. Außerhalb des Kastens trägt das hinausragende Wellen-Ende ein kleineres Stirnrad, das mit einem zweiten, auf der Haupttriebwellen jeder Maschine und Antriebsgruppe angeordneten Rade in Eingriff steht. Die Haupttriebwellen liegen oberhalb der Schnecke, die Wellenmitten liegen jedoch nicht genau in derselben senkrechten Ebene, sondern sind etwas gegen einander verschoben. Das untere Rad ist mit der Schneckenwelle fest verkeilt, das obere Rad steht mit der Haupttriebwellen wieder durch eine ausrückbare Kupplung, die ebenso ausgebildet ist, wie die entsprechende Kupplung in dem Thorantriebe, in Verbindung. Ist die Kupplung ausgerückt, dann dreht sich das obere Zahnrad nicht mit, wenn die Haupttriebwellen bewegt wird, und das Schütz bleibt in seiner Lage. Sobald die Kupplung eingerückt wird, entspricht jeder einmaligen Umdrehung der Welle, also auch einer Druckwassermaschine, eine bestimmte Hebung oder Senkung der Schütztafel.

Das Gewicht jeder Schütztafel einschließlich der Eisen- und Stahltheile beträgt 4200 kg, der Auftrieb der vollständig eingetauchten Tafel 2400, der Gewichtsunterschied also 1800 kg, und dieser Theil des Gewichtes ist durch nachträglich angeordnete Gegengewichte ausgeglichen worden. Anfänglich waren diese Gegengewichte nicht vorgesehen, und deshalb bewegten sich die Schützen beim Absenken zuweilen schneller, als der Umdrehungszahl der Druckwassermaschine entsprach. Das Schneckengetriebe wirkte nämlich wohl selbstsperrend, solange sich das Schütz in Ruhe befand und in dem Getriebe die Reibung der Ruhe Geltung hatte; wenn das Schütz aber gesenkt wurde, dann reichte die Reibung der Bewegung nicht dazu aus, die Selbstsperrung des Schneckengetriebes aufrecht zu erhalten. Die Schnecke eilte der Haupttriebwellen vor, und die Klinke der ausrückbaren Kupplung erhielt, wenn die Schnecke um eine halbe Umdrehung vorgeeilt war und nunmehr der mit der Schneckenwelle fest verkeilte Theil der Kupplung durch die Knagge festgehalten wurde, einen je nach der Schnelligkeit der Schützenbewegung verschieden starken, mehr oder minder heftigen Stoß. Dieser Stoß pflanzte sich selbstverständlich durch die Kupplung auf die Haupttriebwellen und die Druckwassermaschine fort und wirkte ebenso auch auf die Theile der Bewegungsvorrichtungen zwischen dem Schütz und der Kupplung ein, sodaß Brüche zu erwarten waren; deshalb wurden die Gegengewichte schleunigst angebracht, ehe sich infolge der Stöße ernsthafte Mifsstände geltend gemacht hatten. Die Gegengewichte bestehen aus Roh-eisentafeln, die sich zwischen zur Führung dienenden U-Eisen auf und nieder bewegen können. Die Verbindung der Gegengewichte mit den Schütztafeln ist durch je zwei Ketten hergestellt, die über Rollen laufen, die ihrerseits an den Trägern der Maschinenkammerdecken befestigt sind. Die Gegengewichte sind in den Text-Abb. 209 bis 211 nicht dargestellt, einmal weil die Deutlichkeit der Zeichnungen darunter gelitten hätte, dann aber auch, weil die Gegengewichte erst nachträglich angeordnet wurden und in die bestehende Schützenanlage so gut, wie es ging, eingefügt werden mußten. Dabei ist eine Anlage entstanden, die das Gepräge des Nothbehelfs trägt.

Die zum Heben der Schützen erforderliche Kraft ist Dank der Verwendung der Rollenführung verhältnismäßig klein. Bei einem Wasserstandsunterschied vor und hinter dem Schütz von 3,50 m beträgt der auf die Tafel einwirkende Druck rund 32500 kg, der Bewegungswiderstand beträgt aber nur ungefähr ein Achtel davon, also rund 4100 kg, selbst wenn der Reibungsfestwerth zwischen Pockholz und Stahl und zwischen den Rollen und der schmiedeeisernen, verzinkten Führungsschiene am Schützenschlitz gleichmäßig zu 0,50, also verhältnismäßig hoch angenommen wird. Infolge dessen sind auch zwei hintereinander geschaltete Maschinen bei fast allen Schleusenbetriebsverhältnissen imstande, die beiden zu einer Schleusenammer gehörigen Schützen zu heben und zu senken. Nur in ganz besonderen Ausnahmefällen wird es nothwendig werden, jedes Schütz von einer die vollständige Wasserpressung ausnutzenden Maschine heben zu lassen.

Wie bereits oben erwähnt worden ist, sind die auf den Abdeckungen der Maschinenkammern aufgestellten Schutzkästen für die Zahnstangen an den Umlaufanal-Schützen mit Zeigervorrichtungen versehen, die den jeweiligen Stand der Schützen erkennen lassen. Jeder Kasten ist mit zwei Zeigern ausgestattet, von denen der eine der Schleusenmitte zugekehrt, der andere derartig angebracht ist, daß er von dem das Absperrventil der zugehörigen Druckwassermaschine bedienenden Manne beobachtet werden kann. Bei den Seitenmauer-Schützen wird diese letztere Zeigervorrichtung nur in den Ausnahmefällen, in denen das Heben und Senken der Schützen nicht mit den hintereinander geschalteten Maschinen ausgeführt werden kann, zu beobachten sein, in der überaus großen Mehrzahl der Betriebsfälle wird allein der der Schleusenmitte zugekehrte Zeiger, dessen Stellung von der Mittelmauer aus, insbesondere von dem das Absperrventil der Mittelmauermaschine bedienenden Maschinisten erkannt werden kann, in Betracht kommen. Die Schutzkästen auf der Mittelmauer haben die zweite Zeigervorrichtung nur erhalten, damit die den Schleusenbetrieb beaufsichtigenden Beamten die Stellung der dortigen Schützen auch von den Seitenmauern aus beurtheilen können. Die Bewegung der Zeigervorrichtungen wird durch eine Schnur herbeigeführt, die mit beiden Enden an die Schütztafel befestigt ist. Das eine Ende führt von dem Anschluß aus lothrecht in die Höhe, ist um eine in dem Schutzkasten gelagerte Rolle zweimal herumgeschlungen und geht dann nach der Sohle der Schützengrube hinab. Auf dieser ist eine Umlenkrolle angebracht. Die Schnur umgibt die untere Hälfte des Umfanges dieser Rolle und führt dann zu dem Anschluß an das Schütz wieder in die Höhe. Die obere Rolle ist auf einer Welle festgekeilt, die Welle muß sich also, je nachdem das Schütz gehoben oder gesenkt wird, in der einen oder der anderen Richtung drehen. Von der Welle aus werden die Zeigervorrichtungen bewegt.

Die Schützengruben sind in Höhe des Fußbodens der Maschinenkammern mit Riffelblechplatten abgedeckt. Diese Platten liegen theils auf 5 cm Breite auf diesem Fußboden auf, theils werden sie durch kleine U Eisen unterstützt, die senkrecht zur Schleusenlängsachse liegen und theils von Schellen getragen werden, die an den mehrfach erwähnten senkrechten Rundeisenstangen angebracht sind, theils sich auf die unteren Flanschen der den Schneckenkasten tragenden U Eisen stützen. Die kleinen U Eisen sind nirgendwo mit dem Schleusenmauerwerk und den Theilen der Schützenanlage in eine feste Verbindung gebracht worden, sie sollen für Instandsetzungsarbeiten an den Schützen und deren Bewegungsvorrichtungen möglichst leicht entfernt werden können. In der Abdeckung der Schützengruben ist an einer Stelle, die von den die Maschinen bedienenden Arbeitern sonst nicht be-

gangen wird, eine Einsteigeöffnung angeordnet. Dort führt eine eiserne Leiter von der Maschinenkammer nach der Sohle der Schützengrube hinab.

Die Antriebe der Spille. Wie bereits in der Unterabtheilung c dieses Abschnittes (Seite 37) gesagt worden ist, werden die stehenden Wellen der Spille und damit auch die Spilltrommeln mit Hilfe eines Kegelradvorgeleges bewegt. Das kleinere Kegelrad ist dabei auf einer wagerechten Welle festgekeilt, und auf dieser Welle befinden sich fernerhin noch drei Stirnräder. Je eines davon gehört zu einem der drei Vorgelege, die die drei verschiedenen Umdrehungsgeschwindigkeiten und die dementsprechend sich ändernden Zugkräfte am Umfang der Spilltrommel herbeiführen (Text-Abb. 217 bis 220 und 234). Die Welle mit dem Kegelrad und den drei Stirnrädern ist gleichlaufend zu der Haupttrieb- welle gelagert. Auf der letzteren ist für jedes Vorgelege ebenfalls ein Stirnrad angebracht. Die Verbindung zwischen den zusammengehörigen Rädern wird für das 3 t- und das 6 t-Vorgelege durch ein drittes, in die beiden Räder gleichzeitig eingreifendes Rad, bei dem 12 t-Vorgelege durch zwei

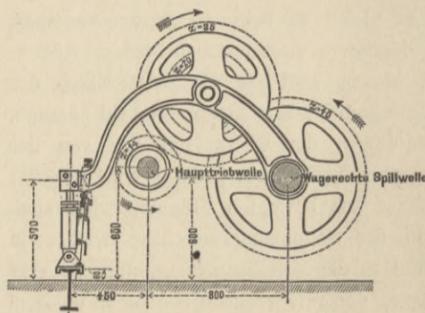


Abb. 234. 12 t-Vorgelege der Spille.

auf einer gemeinschaftlichen Welle angebrachte, verschiedenen große Stirnräder herbeigeführt, von denen das größere in das auf der Haupttrieb-welle befindliche Rad, das kleinere in das auf der wagerechten Welle befestigte Stirnrad eingreift. Das Uebersetzungsverhältniß der Vorgelege ist aus den in die Text-Abb. 217 und 218 eingetragenen Zähnezahlen der Räder zu ersehen. Solange das Spill außer Betrieb ist, befinden sich die zur Verbindung der beiden Triebwellen dienenden Zahnräder sämtlich außer Eingriff mit den auf den Wellen befindlichen Rädern, die Haupttrieb-welle kann also behufs des Oeffnens oder des Schließens eines Thorflügels oder behufs des Hebens oder Senkens eines Schützes beliebig gedreht werden, ohne daß das Spill in Bewegung kommt. Soll das Spill benutzt werden, dann muß erst das der benötigten Zugkraft entsprechende Vorgelege des Spills eingerückt werden. Diese Einrückung erfolgt von der Decke der Maschinenkammer aus durch Umlegen eines Hebels, dessen Handgriff sichtbar und erreichbar wird, wenn der Deckel eines in die Maschinenkammerdecke eingebauten Kastens geöffnet wird, jedoch nicht sofort nach dem Umlegen des Hebels, sondern erst dann, wenn der Deckel des Kastens wieder geschlossen wird.

Die kleinen Wellen, auf denen die einzelnen Verbindungsräder des 3 t- und 6 t-Vorgeleges und die beiden Verbindungsräder des 12 t-Vorgeleges sitzen, sind mit ihren Enden annähernd in der Mitte je eines gekrümmten Hebelpaares drehbar gelagert, und zwar ist die Form der Hebelarme derart gewählt, daß die Mitten der Verbindungszahnräder höher liegen als die Mitten der Haupttrieb-welle und der zum Spill gehörigen wagerechten Welle. Das eine Ende der Hebel ist mit einem Auge versehen und mit diesem auf die wagerechte Spillwelle geschoben, sodaß sich die Hebelpaare um diese Welle drehen müssen, wenn ihr anderes Ende gehoben und gesenkt wird. Diese Hebung und Senkung der anderen Enden der Hebelpaare wird nun für jedes Hebel-paar gesondert durch eine kleine Druckwasserstellvorrichtung bewirkt. Die Stellvorrichtungen bestehen aus einem kleinen

Cylinder, in dem sich ein Scheibenkolben bewegen kann, dessen verhältnismäßig starke Kolbenstange nach oben führt und an das Ende eines der drei Hebelpaare angeschlossen ist. Befindet sich in dem Cylinder Druckwasser, so hat der Kolben auch seine höchste Stellung, da die auf seine Unterfläche wirkende Wasserpressung größer ist als die auf die obere Fläche entfallende, weil diese um den Kolbenstangenquerschnitt kleiner ist als jene. Bei dieser Kolbenstellung befinden sich die Verbindungszahnräder der Vorgelege außer Eingriff mit den übrigen Rädern, und die Vorgelege sind ausgerückt. Wird das Druckwasser aus dem unter dem Kolben befindlichen Theil des Cylinders abgelassen, während gleichzeitig der über dem Kolben gelegene Theil des Cylinder-Inneren mit dem Druckwasser in Verbindung bleibt, dann sinkt der Kolben und das zugehörige Vorgelege wird eingerückt. Beim Einrücken der Vorgelege kommt zunächst das Verbindungszahnrad mit dem auf der Haupttriebwellen befindlichen Stirnrade zum Eingriff, erst beim weiteren Senken des Kolbens kommt das Verbindungszahnrad auch mit dem auf der wagerechten, zum Spill gehörigen Welle angebrachten Stirnrade zum Kämmen. Diese Anordnung bezweckt ein allmähliches Ingangsetzen der zu bewegenden Spilltheile. Die kleinen Druckwassercylinder machen beim Heben und Senken der Hebelpaare eine kleine Drehbewegung, und dementsprechend mußten sie auch drehbar mit dem Schleusenmauerwerk verbunden werden; sie endigen deshalb in ihrem unteren Theil in einem Auge, das durch einen Bolzen an einem kleinen gußeisernen Lager befestigt ist, das seinerseits wieder mit dem über den Maschinenkammer-Fußboden hervorragenden Theil eines in diesen Fußboden eingemauerten I Eisens verschraubt ist. Um die von den Hebeln getragenen Zahnräder an jedem zu tiefen Eingreifen in die auf der Haupttriebwellen und der wagerechten Spillwellen angeordneten Räder zu hindern, wird die tiefste Stellung der freien Enden der Hebelpaare durch Bügel, auf welche die Hebel aufstößen, begrenzt. Ebenso sind Vorrichtungen vorhanden, durch welche die Hebel in ihrer gehobenen Stellung festgehalten werden können, wenn etwa ein Druckwasser-Cylinder während des Thor- und Schützenbetriebes schadhafte wird oder für Unterhaltungsarbeiten ausgewechselt werden soll. Diese letzteren Vorrichtungen sind bei den Spillen, die von den Haupttriebwellen in den Maschinenkammern am Außen- und Binnenhaupt der Schleusen aus betrieben werden, nur dann außer Benutzung, wenn der verhältnismäßig seltene Fall eintritt, daß diese Spille in Thätigkeit treten sollen. Gewöhnlich sind die Hebel festgestellt, damit sich die Spille nicht bei etwa eintretendem Undichtwerden der Ein- und Ausrückvorrichtungen selbstthätig einrücken oder von Unbefugten oder von den Bediensteten der Schleuse irrtümlich eingerückt werden können.

Das Einrücken der Spillvorgelege geschieht, wie bereits oben erwähnt worden ist, durch Umlegen eines von der Decke der Maschinenkammer aus zugänglichen Hebels. Dieser muß in vier verschiedenen Stellungen eine Einwirkung auf die Spillvorgelege ausüben, da nämlich entweder alle drei Vorgelege ausgerückt sein müssen oder das 3 t- bzw. das 6 t- oder das 12 t-Vorgelege eingerückt sein muß, während gleichzeitig die Hebelpaare der beiden anderen Vorgelege gehoben sein müssen. Wenn alle drei Vorgelege ausgerückt sind, dann muß sich in den kleinen Cylindern sowohl über wie unter dem Kolben Druckwasser befinden. Wenn ein Vorgelege eingerückt werden soll, so braucht nur das Cylinder-Innere unter dem Kolben mit der Luft in Verbindung gesetzt zu werden, denn dann kann das dort befindliche Druckwasser entweichen; auf die untere Kolbenfläche wirkt dann nur noch der Atmosphärendruck, und das zugehörige Hebelpaar senkt sich. Der Wechsel in der Verbindung des unter dem Kolben

befindlichen Theils des Inneren der drei Cylinder mit dem Druckwasser bzw. der Luft geschieht mit Hilfe eines Schiebers, der durch den Hebel in einem Gehäuse bewegt wird. In der Text-Abb. 235 ist das Gehäuse mit dem Buchstaben *A* bezeichnet. Das Innere des Gehäuses steht durch eine kleine Rohrleitung ständig mit dem Druckwasser in Verbindung. Der Anschluß dieser Rohrleitung an das Gehäuse ist durch das in der Text-Abb. 236 gestrichelt angedeutete Kreuzstück bewirkt. Oben schließt an das Kreuzstück die Druckwasserzuleitung an, links führt eine Leitung nach den in den drei Cylindern der Spillvorgelege oberhalb der Kolben gelegenen Räumen, und rechts zweigt eine Leitung ab, die nach dem in der Text-Abb. 235 mit *B* bezeichneten Körper führt und eine später zu erörternde Aufgabe zu erfüllen hat. In dem Inneren des Gehäuses befindet sich also stets Druckwasser, und ebenso stehen die Räume über den Kolben in den drei Cylindern stets mit dem Druckwasser in Verbindung. Wenn sich ein Kolben senkt, dann strömt deshalb ohne weiteres die der dadurch hervorgerufenen Vergrößerung des Raumes über dem Kolben entsprechende Wassermenge nach, und wenn der Kolben sich hebt, strömt entsprechend Druckwasser ab.

In der Bodenplatte des Gehäuses *A* befinden sich vier kreisrunde Canäle, die nahezu senkrecht hinabgeführt sind und in vier wagerechte Canäle einmünden, die von den Mitten der vier Seitenflächen des unteren Gehäusetheiles ausgehen. Die Ausmündungen der drei in Text-Abb. 237 mit den Zahlen 1, 2 und 3 bezeichneten Canäle liegen im Schieberspiegel in einer geraden Linie, und jeder dieser Canäle steht mit einem der in den drei Cylindern der Vorgelege unter dem Kolben befindlichen Räume durch eine Rohrleitung in Verbindung. Die Ausmündung des vierten, mit der Zahl 4 bezeichneten Canals liegt hinter den drei übrigen. Dieser Canal steht mit der Luft in Verbindung, aber nicht unmittelbar und ständig, sondern aus dem später zu erörternden Grunde auf dem Umwege über den in der Text-Abb. 235 mit *B* bezeichneten Körper. Der durch den Hebel bewegte Schieber hat die aus den Text-Abb. 236 bis 240 ersichtliche Form. Er bedeckt den Canal 4 bei jeder der vier Stellungen, die ihm durch das Umlegen des Hebels, der ihn bewegt, ertheilt werden sollen, die Canäle 1, 2 und 3 werden jedoch entweder alle drei von dem Schieber frei gelassen, und in diesem Falle sind auch alle drei Vorgelege des Spills ausgerückt, oder der Schieber überdeckt einen dieser Canäle, sperrt ihn damit gegen das im Schiebergehäuse befindliche Druckwasser ab und bringt ihn zugleich mit dem vierten Canal in Verbindung. Die Form und die Abmessungen des Schiebers sind so gewählt, daß das gleichzeitige Bedecken von zwei der in einer Linie liegenden Canalausmündungen unmöglich ist, es können deshalb auch nie zwei Vorgelege gleichzeitig eingerückt sein. Wenn der vierte Canal nun zur Luft führte, dann müßte das Druckwasser unter dem Kolben des zu dem überdeckten Canal gehörigen Cylinders entweichen und das betreffende Vorgelege sich einrücken. Der vierte Canal führt aber nur dann zur Luft, wenn die Klappe, die in der Maschinenkammerdecke geöffnet werden muß, um den Hebel zugänglich zu machen, geschlossen ist. Wenn diese Klappe geöffnet ist, und das muß sie sein, wenn der Hebel behufs Einrückens eines Vorgeleges umgelegt werden soll, dann steht auch der vierte Canal mit dem Druckwasser in Verbindung, und das Vorgelege rückt sich nicht ein. Die wechselnde Verbindung des vierten Canals mit der Luft bzw. mit dem Druckwasser wird nun durch den in der Text-Abb. 235 mit *B* bezeichneten Körper bewirkt. Dieser Körper enthält wieder einen Schieber, und zwar einen Schieber, der beim Öffnen und Schließen der in der Maschinenkammerdecke angeord-

neten Klappe durch ein Hebelgestänge bewegt wird, also eine Stellung — entsprechend der geöffneten — und eine zweite Stellung — entsprechend der geschlossenen Klappe — an-

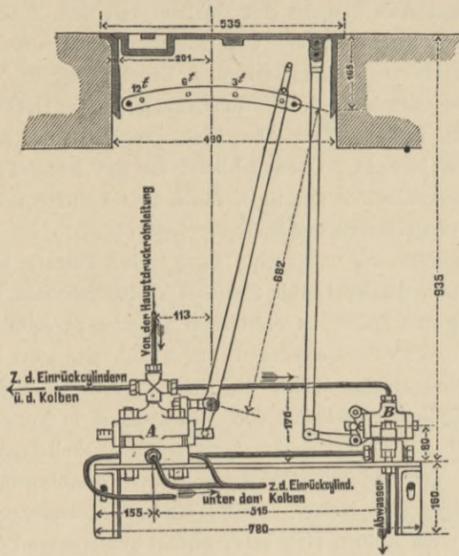


Abb. 235. Gehäuse A und B nebst den Hebeln und der Klappe.

nimmt. In der letzteren Stellung überdeckt der Schieber gleichzeitig zwei Canäle, von denen der eine zur Luft führt, der andere durch eine kupferne Rohrleitung mit dem vierten Canal des Schiebergehäuses A in Verbindung steht, sodafs also bei dieser Stellung des Schiebers der vierte Canal mit der Luft verbunden ist. Dann aber rückt sich auch, sofern der den Schieber im Gehäuse A bewegende Hebel auf ein Vorgelege umgelegt ist, das Vorgelege ein, wie aus dem oben Gesagten hervorgeht. Ist die Klappe dagegen geöffnet, dann hat der Schieber in dem Gehäuse B seine zweite Stellung, und bei dieser ist der mit dem vierten Canal des Gehäuses A in Verbindung stehende Canal nicht überdeckt. Da nun das Innere des Gehäuses B durch die bereits erwähnte Rohrleitung, die an das Kreuzstück am Gehäuse A angeschlossen ist, mit dem Druckwasser in Verbindung steht, wird auch der vierte Canal des Gehäuses A mit Druckwasser gefüllt sein, und das Druckwasser unter dem Kolben eines einzurückenden Vorgeleges kann nicht entweichen, also dieser Kolben sich nicht senken und damit sich das Vorgelege nicht einrücken. Ebenso kommt auch ein Vorgelege, das bereits eingerückt war, durch Öffnen der Klappe sofort wieder außer Eingriff. Diese Abhängigkeit der Spill-Vorgelege von der Klappenstellung ist



Abb. 239. Schnitt ab durch den Schieber.

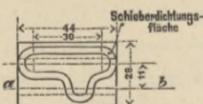


Abb. 240. Untersicht des Schiebers des Gehäuses A.

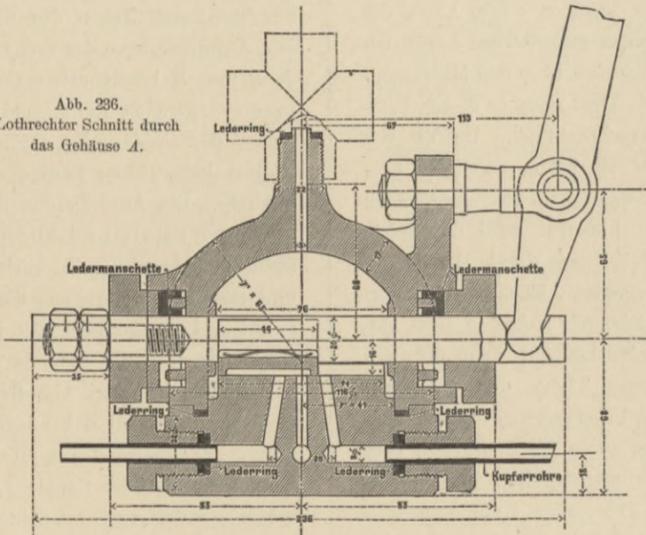


Abb. 236. Lothrechtter Schnitt durch das Gehäuse A.

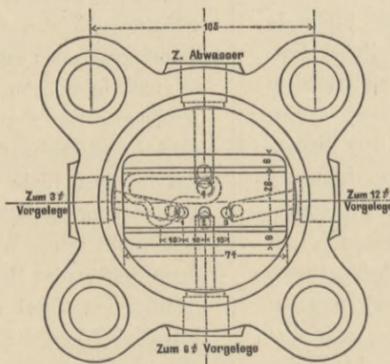


Abb. 237. Oberansicht von dem Untertheil des Gehäuses A und dem Schieber.

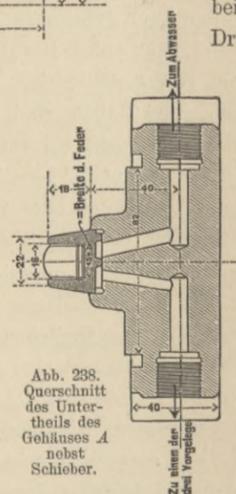


Abb. 238. Querschnitt des Untertheils des Gehäuses A nebst Schieber.

Abb. 235 bis 240. Die Einrückvorrichtungen der Spill-Vorgelege.

geschaffen worden, damit nicht etwa während des Ganges eines Spilles durch schnelles Umlegen des Hebels auf ein anderes Vorgelege zwei Vorgelege gleichzeitig in Eingriff sein können, da dann weitgehende Zerstörungen des ganzen Spillantriebes eintreten würden. Um dem das Spill bedienenden Maschinisten das richtige Einstellen des Einrückhebels zu erleichtern und ihm die Möglichkeit zu geben, die Hebel derartig zu stellen, dafs der kleine Schieber im Gehäuse A den zu einem bestimmten Vorgelege gehörigen Canal vollständig überdeckt, sind an dem Kreisbogen, an dem entlang der Handgriff des Hebels bewegt wird, die Zahlen 3, 6 und 12 an den Stellen angebracht, an denen sich der Handgriff befinden mufs, wenn das 3 bzw. 6 oder 12 t-Vorgelege eingerückt werden soll. Alle drei Vorgelege sind bei allen Spillen dann ausgerückt, wenn der Hebel soweit nach dem Spill zu umgelegt ist, als es der in die Maschinenkammerdecke eingebaute Kasten überhaupt erlaubt.

Die vorstehende Erläuterung der Spillantriebe und der zugehörigen Einrückvorrichtungen ist auch für die von den Bewegungsvorrichtungen der Sperrthore betriebenen Spille in vollem Umfange zutreffend und ebenso im wesentlichen für die sechs, an den Enden der drei Schleusenmauern befindlichen Spille. Diese werden allerdings von besonderen Druckwassermaschinen bewegt, dadurch wird aber nur ein einziger

Unterschied gegen die bisher erläuterten Antriebe herbeigeführt. Es tritt nämlich eine Verlängerung der Kurbelwelle dieser Maschine an die Stelle der Haupttrieb- und Antriebsgruppen, alles übrige bleibt vollständig ungeändert, und deshalb werden auch im folgenden diese Spille nicht weiter erörtert werden.

Die Vorrichtungen zum Umsteuern und zum Hintereinanderschalten der Maschinen. Es ist bereits bei der Beschreibung der Druckwasser-Maschinen gesagt worden, dafs die Umlaufrichtung derselben davon abhängig ist, welches der beiden, quer über den Cylindern, also gleichlaufend mit der Kurbelwelle liegenden Rohre mit dem Druckwasser in Verbindung steht, und des ferneren, dafs stets das eine dieser beiden Rohre mit dem Druckwasser, das

andere gleichzeitig mit dem Abwasser verbunden sein mufs, wenn die Maschine in Betrieb kommen soll. Welches der beiden Rohre mit dem Druckwasser verbunden ist, das wird durch die Stellung eines Schiebers bestimmt, der sich in einem Gehäuse bewegt, das an den beiden Rohren befestigt ist. An das Gehäuse, dessen Ausbildung aus den Text-Abb. 241 u. 242 zu ershen ist, ist die Druckwasserrohrleitung angeschlossen,

und daher befindet sich in seinem Inneren stets Druckwasser, solange das Absperrventil der Maschine geöffnet ist. In den Schieberspiegel münden drei Canäle ein, wovon der mittelste bei den Seitenmauermaschinen zum Abwasser, bei den Mittelmauermaschinen jedoch in die Hintereinanderschalt-Vorrichtung führt, die — wie später erörtert werden wird — den Canal entweder mit dem Abwasser oder mit der Hintereinanderschalt-Leitung verbindet. Von den beiden anderen Canälen führt jeder zu einem der beiden Vertheilungsrohre, die über den Cylindern der Maschine liegen. Der Schieber überdeckt stets den mittleren und einen der beiden seitlichen Canäle, es ist also auch stets das eine der beiden Rohre mit dem Druckwasser, das andere mit dem Abwasser, oder in der Mittelmauer — je nach dem Stande der Hintereinanderschaltvorrichtung — mit der Hintereinanderschaltleitung in Verbindung. Der Schieber braucht also nur zwei verschiedene Stellungen annehmen zu können, um allen Anforderungen der Maschinensteuerung zu genügen. Das Innere des Gehäuses ist in drei Abtheilungen getheilt, und der Schieber wird durch einen Kolben bewegt, der in den Zwischenwänden des Gehäuses wasserdicht geführt ist. Die Verschiebung des Schiebers wird dadurch herbeigeführt, daß abwechselnd der eine Endtheil mit dem Druckwasser und gleichzeitig der andere mit dem Abwasser in Verbindung gesetzt wird; es schiebt dann jedesmal das Druckwasser den Kolben und damit auch den Schieber nach dem anderen Ende. — Der Querschnitt des Kolbens ist so groß gewählt, daß der Druck auf die Kolbenfläche 1800 kg beträgt, also der Schieber mit Sicherheit in Bewegung gesetzt wird. In welchem Endtheil sich Druckwasser befindet, das hängt von der Stellung eines Schiebers einer Hilfsvorrichtung ab. Diese Hilfsvorrichtung besteht wieder aus einem Gehäuse, in dem sich ein Schieber bewegt, und zwar hat der Schieber zwei verschiedene Stellungen, je nachdem der Deckel eines in die Maschinenkammerdecke eingebauten Kastens geöffnet oder geschlossen ist. Der Deckel dreht sich um eine wagerechte Achse und steht mit dem Schieber durch ein Gestänge in Verbindung; ist er geöffnet, dann ist auch die Maschine derartig gesteuert, daß die Thore geöffnet und die Umlaufcanäle frei gemacht, die Schützen derselben also gehoben werden. Ist der Deckel geschlossen, dann schließen sich die Thore und die Umlaufcanalschützen senken sich. In den Schieberspiegel des Gehäuses münden wieder drei Canäle ein, der mittelste führt zum Abwasser, jeder der beiden seitlichen durch eine Kupferrohrleitung zu einem der beiden Endtheile der eigentlichen Umsteuerungsvorrichtung. Der Schieber überdeckt stets gleichzeitig zwei Canäle und läßt den dritten frei. Da das Innere des Gehäuses mit dem Druckwasser in Verbindung steht, ist auch der mit dem nicht überdeckten Canal in Verbindung stehende Endtheil des großen Schiebergehäuses mit Druckwasser gefüllt und der dortige Schieber dementsprechend eingestellt. Bei dem Verschieben des großen Schiebers muß das in dem zweiten Endtheil befindliche Wasser ent-

weichen, es nimmt seinen Weg durch die kupferne Rohrleitung nach den vom Schieber überdeckten Canal des kleinen Gehäuses und gelangt unter dem Schieber hindurch zu dem nach dem Abwasser führenden Canal.

Mit der großen Umsteuervorrichtung sind sämtliche Druckwassermaschinen, die vorwärts und rückwärts laufen müssen, ausgerüstet, also alle Maschinen der Schleusen, mit Ausnahme der zu den sechs Spillen an den Enden der Schleusenmauern gehörigen. Da die Spille nur rechts herum laufen sollen, konnte bei diesen sechs Maschinen die Umsteuervorrichtung fortgelassen werden. Die kleinen Hilfsvorrichtungen sind nur bei den umzusteuern den Maschinen der Mittelmauer angeordnet, und zwar sind sie auf den über die Cylinder jeder Maschine gestreckten beiden Vertheilungsrohren leicht abnehmbar aufgestellt. Bei den Maschinen der Seitenmauern konnte diese Vorrichtung entbehrt werden, da die Maschinen der Seitenmauern und der Mittelmauern stets dieselbe Umgangsrichtung haben müssen, und es deshalb zweckmäßig erschien, die Umsteuerung der beiden zu einander gehörigen Maschinen gleichzeitig vorzunehmen. Die Rohr-

leitungen, die von den beiden seitlichen Canälen der kleinen Umsteuervorrichtung ausgehen, führen nämlich nicht nur nach dem betreffenden Endtheil der großen Umsteuervorrichtung der Mittelmauermaschine, sondern sie sind mit Hilfe je einer in den Gängen und den Tunneln unter der Schleuse verlegten, aus so-

genannten Perkinsrohren hergestellten Rohrleitung nach dem entsprechenden Endtheil der zugehörigen Seitenmauermaschinen weiter geführt. Infolge dessen werden zwei zu einander gehörige Druckwassermaschinen der Mittel- und der Seitenmauern stets gleichzeitig umgesteuert, und es braucht nur auf der Mittelmauer ein Maschinist vorhanden zu sein, der die zu der Umsteuervorrichtung gehörige Klappe öffnet und schließt, je nachdem die Thore geöffnet oder geschlossen, die Umlaufcanalschützen gehoben oder gesenkt werden sollen.

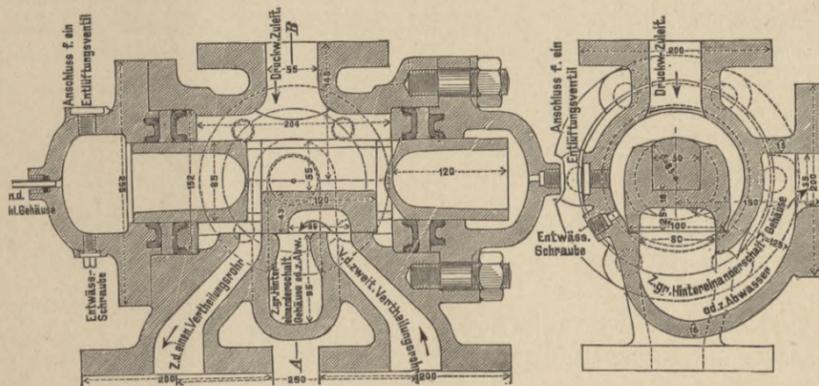


Abb. 241. Wagerechter Schnitt. Abb. 242. Lothrechter Schnitt A.B. Abb. 241 und 242. Großes Umsteuergehäuse. 1/2 natürlicher Größe.

Der Querschnitt des Kolbens ist so groß gewählt, daß der Druck auf die Kolbenfläche 1800 kg beträgt, also der Schieber mit Sicherheit in Bewegung gesetzt wird. In welchem Endtheil sich Druckwasser befindet, das hängt von der Stellung eines Schiebers einer Hilfsvorrichtung ab. Diese Hilfsvorrichtung besteht wieder aus einem Gehäuse, in dem sich ein Schieber bewegt, und zwar hat der Schieber zwei verschiedene Stellungen, je nachdem der Deckel eines in die Maschinenkammerdecke eingebauten Kastens geöffnet oder geschlossen ist. Der Deckel dreht sich um eine wagerechte Achse und steht mit dem Schieber durch ein Gestänge in Verbindung; ist er geöffnet, dann ist auch die Maschine derartig gesteuert, daß die Thore geöffnet und die Umlaufcanäle frei gemacht, die Schützen derselben also gehoben werden. Ist der Deckel geschlossen, dann schließen sich die Thore und die Umlaufcanalschützen senken sich. In den Schieberspiegel des Gehäuses münden wieder drei Canäle ein, der mittelste führt zum Abwasser, jeder der beiden seitlichen durch eine Kupferrohrleitung zu einem der beiden Endtheile der eigentlichen Umsteuerungsvorrichtung. Der Schieber überdeckt stets gleichzeitig zwei Canäle und läßt den dritten frei. Da das Innere des Gehäuses mit dem Druckwasser in Verbindung steht, ist auch der mit dem nicht überdeckten Canal in Verbindung stehende Endtheil des großen Schiebergehäuses mit Druckwasser gefüllt und der dortige Schieber dementsprechend eingestellt. Bei dem Verschieben des großen Schiebers muß das in dem zweiten Endtheil befindliche Wasser ent-

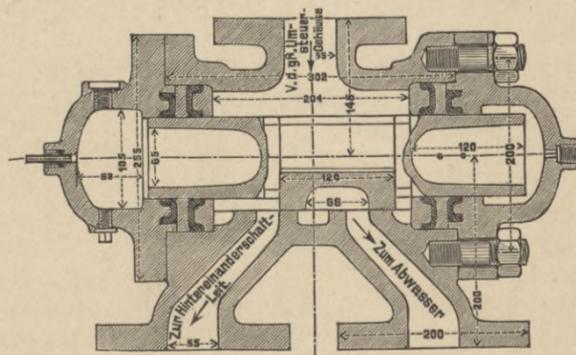


Abb. 243. Lothrechter Längenschnitt durch die Mitte des großen Hintereinanderschalt-Gehäuses. 1/2 natürl. Größe.

Die Hintereinanderschaltvorrichtung ist fast ebenso ausgebildet wie die Umsteuervorrichtung, insbesondere stimmt die kleine Hilfsvorrichtung mit der soeben beschriebenen in allen Einzelheiten vollständig überein und wird ebenso wie diese durch das Öffnen oder Schließen des Deckels eines

in die Maschinenkammerdecke eingebauten Kastens betrieben. Dieser Kasten und der Kasten der Umsteuerungsvorrichtung bilden ein Stück, nur die Deckel sind getrennt. Der beim Umsteuern zu öffnende bzw. zu schließende Deckel ist an der der Drehachse abgewandten Seite nach einem Halbkreis abgerundet und trägt den Buchstaben *U*, der andere Deckel ist viereckig und mit der Bezeichnung *H* versehen. Ist der Deckel geöffnet, dann ist die Hintereinanderschaltung herbeigeführt. Das große Gehäuse ist an die große Umsteuerungsvorrichtung angeschlossen und zwar an den Rohrstützen, in den der mittlere der drei im Schieberpiegel vorhandenen Canäle ausläuft, es tritt daher stets das in der Mittelmauermaschine verwandte Wasser, das diese bereits bewegt hat, in das Innere des Hintereinanderschaltgehäuses ein. Von hier soll es nun entweder in das Abwasser abfließen, oder es soll in die Hintereinanderschaltleitung gelangen und in dieser der Seitenmauermaschine zugeführt werden. Es hat also nur einen von zwei Wegen einzuschlagen, und dementsprechend sind in dem Schieberpiegel des Gehäuses auch nur zwei Canäle vorgesehen, von denen stets der eine durch den Schieber geschlossen, der andere aber geöffnet sein muß. In der Zahl der Canäle und dem Umstande, daß der Schieber nur einen Canal überdeckt, besteht der Unterschied zwischen der Umsteuer- und

Mittel- wie die Seitenmauermaschine so gesteuert, daß die Thore und die Schützen geschlossen werden, die Maschinen sind aber nicht hintereinander geschaltet.

Die Hintereinanderschaltleitungen sind genau so ausgebildet wie die später zu beschreibenden Druckwasser-

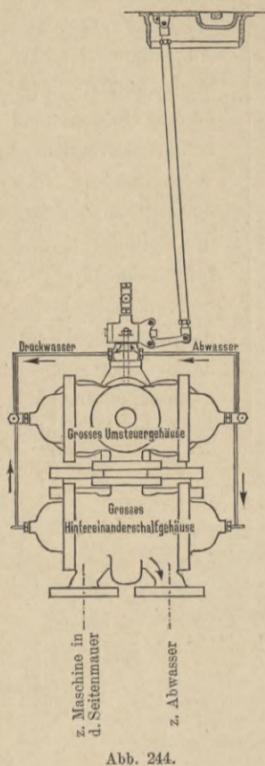


Abb. 244.

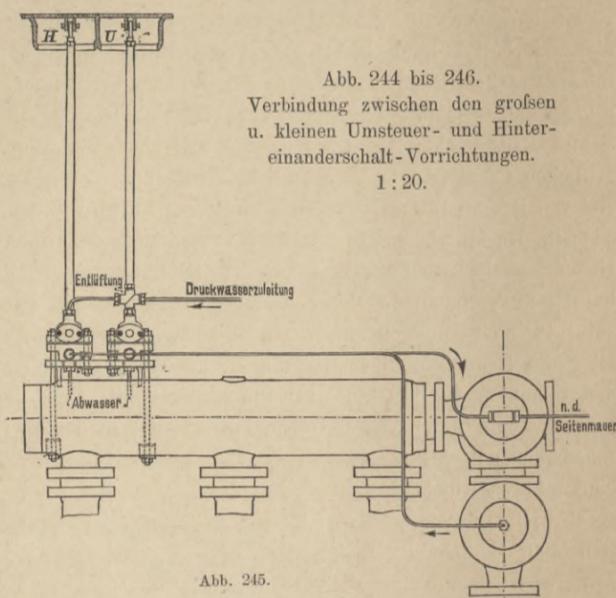


Abb. 245.

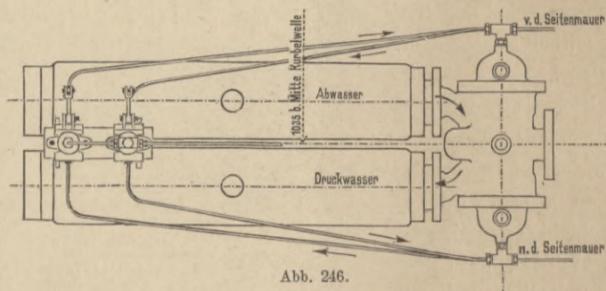


Abb. 246.

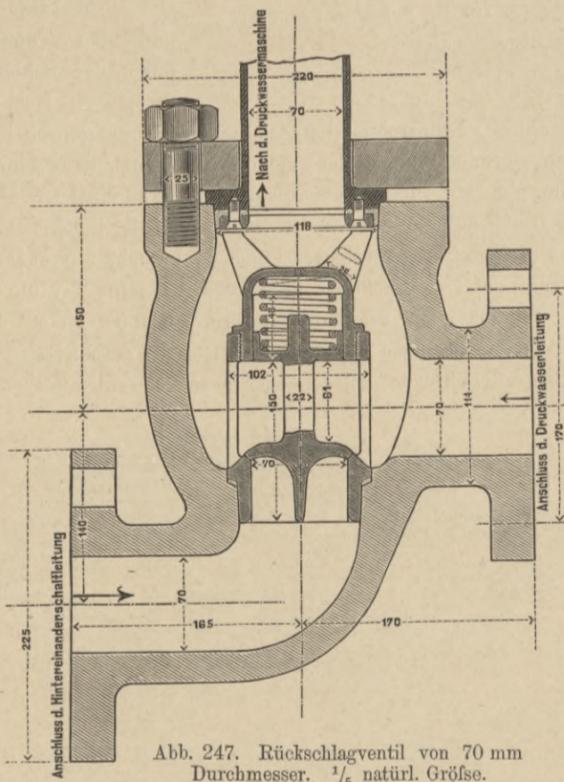


Abb. 247. Rückschlagventil von 70 mm Durchmesser.  $\frac{1}{6}$  natürl. Größe.

der Hintereinanderschaltvorrichtung. Die Text-Abb. 243 zeigt einen lothrechten Schnitt durch die Mitte der letzteren Vorrichtung. Aus den Text-Abb. 244 bis 246 ist der Zusammenhang der großen und kleinen Umsteuer- und Hintereinanderschaltvorrichtungen und die Verbindung der Schieber in den kleinen Gehäusen mit den Deckeln der Klappen zu ersehen. Da die Deckel geschlossen sind, ist sowohl die

leitungen und verfolgen auch denselben Weg wie diese. Es sei deshalb hier hinsichtlich der Hintereinanderschaltleitungen nur gesagt, daß sie nicht an die Seitenmauermaschinen selbst bzw. an die an diesen angebrachten großen Umsteuergehäuse, sondern an die Zweigleitungen angeschlossen sind, die von den Hauptdruckwasserleitungen nach den Seitenmauermaschinen führen. Dieser Anschluss ist zwischen dem in die Zweigleitung eingebauten Absperrventil und der Maschine erfolgt. Da durch Öffnen dieses Ventils Druckwasser von voller Pressung in die Maschine gelangt, so würde sich auch die Hintereinanderschaltleitung mit solchem Wasser füllen. Um dieses zu verhindern, ist in die Hintereinanderschaltleitung an der Anschlussstelle ein Rückschlagventil eingebaut, das von dem durch Öffnen des Absperrventils in die Leitung gelangenden Druckwasser mit voller Pressung auf seinen Sitz gedrückt wird und dadurch die Hintereinanderschaltleitung gegen Eindringen dieses Wassers sichert, während es bei geschlossenem Absperrventil dem durch die Hintereinanderschaltleitung von der Mittelmauer nach der Seitenmauer strömenden Wasser den Weg nach der Seitenmauermaschine freilässt. Das Rückschlagventil ist in der Text-Abb. 247 dargestellt.

Es ist oben bereits gesagt worden, daß zwei hintereinandergeschaltete Maschinen nur dann genau die gleiche Anzahl von Umdrehungen machen können, wenn beide genau dieselbe Druckwassermenge empfangen. Das ist nun, wenn zwei Maschinen hintereinandergeschaltet sind, nicht immer der Fall, weil Undichtigkeiten in den Rohrleitungen und den Hintereinanderschalt- und Umsteuerungsvorrichtungen trotz sorgfältigster Unterhaltung und Beaufsichtigung der Anlage nicht

zu vermeiden sind. Erhält die Seitenmauermaschine weniger Wasser als die Mittelmauermaschine, so muß sie auch weniger Umdrehungen machen als diese, und der von ihr bewegte Thorflügel wird zum Beispiel noch nicht am Drempe liegen, während der von der Mittelmauermaschine bewegte Flügel seine Endstellung bereits erlangt hat. Ebenso kann es vorkommen, daß der Seitenmauermaschine mehr Wasser zufließt als der Mittelmauermaschine, und zwar wird das der Fall sein, wenn der Schieber in dem großen Umsteuergehäuse der Mittelmauer nicht dicht schließt, sodaß Druckwasser unter den Schieber und damit in den mittleren Canal gelangt und von diesem durch das große Hintereinanderschalt-Gehäuse und die Leitung in die Seitenmauermaschine strömt. In allen solchen Fällen würden die Bewegungen zweier zusammengehörigen Thorflügel oder Umlaufcanalschützen ungleichmäßig ausfallen, und es bliebe — wenn nicht besondere Vorkehrungen getroffen wären — nichts übrig, als die Hintereinanderschaltung aufzuheben, sobald der eine der zu bewegend Thorflügel oder das eine der Schützen seine Endstellung erreicht hat, und den zweiten Thorflügel oder das zweite Schütz gesondert durch die mit Wasser von voller Pressung gespeiste Maschine der Mittel- oder Seitenmauer in die Endstellung zu überführen. Dann müßte also auf den Seitenmauern ein Mann vorhanden sein, der das Absperrventil der dortigen Maschine bedient, und damit würden die Vortheile zum großen Theil verloren gehen, die durch die Vereinigung der Steuerung auf der Mittelmauer angestrebt worden sind. Der Vortheil dieser Einrichtungen besteht gerade darin, daß der auf der Mittelmauer am Außen- oder am Binnenhaupt befindliche Maschinist unter allen gewöhnlichen Betriebsverhältnissen der Schleuse sämtliche vier Thorflügel und vier Umlaufcanalschützen durch Oeffnen und Schließen einiger Klappen und das Oeffnen der in die Zuleitungen zu den Druckwassermaschinen eingebauten Absperrventile beliebig bewegen kann.

Wenn die Seitenmauermaschine sich zu schnell bewegt, dann strömt durch die Hintereinanderschaltleitung zu viel Wasser, und zur Erzielung des gleichmäßigen Ganges beider Maschinen muß Wasser aus dieser Leitung herausgelassen werden. Bewegt sich die Seitenmauermaschine zu langsam, dann muß Druckwasser in die Hintereinanderschaltleitung eingelassen werden, sofern die beiden Thorflügel oder die beiden Schützen gleichzeitig in ihre Endstellungen gelangen sollen. Beide Zwecke werden durch zwei gleichmäßig ausgebildete kleine Ventile erreicht, die mit der Hintereinanderschaltleitung dicht bei der Mittelmauermaschine in Verbindung stehen und von dem auf der Maschinenkammerdecke befindlichen Maschinisten geöffnet oder geschlossen werden können. Das eine Ventil ist in eine Verbindungsleitung zwischen der Hintereinanderschalt- und der Druckwasserleitung eingebaut und läßt, sobald es geöffnet ist, Druckwasser von voller Pressung in die Hintereinanderschaltleitung einströmen, beschleunigt also den Gang der Seitenmauermaschine. Beim Oeffnen des zweiten Ventils spritzt Wasser aus der Hintereinanderschaltleitung ab, der Gang der Seitenmauermaschine wird also verlangsamt. Infolge der Anordnung dieser beiden Ventile hat der Maschinist auf der Mittelmauer die Bewegung der Thore und der Schützen am Binnen- und Außenhaupt der Schleusen vollständig in der Hand, solange mit Hintereinanderschaltung gearbeitet wird, also in allen gewöhnlichen Betriebsfällen. Nur dann, wenn die Bewegung der Thore und Schützen ganz ungewöhnlich große Kräfte beansprucht, dann sind auch auf den Seitenmauern Mannschaften zur Bedienung der zu den dortigen Maschinen gehörigen Absperrventile nothwendig, die Steuerung der Maschinen erfolgt aber auch in diesem Falle von der Mittelmauer aus.

Bei der im vorstehenden beschriebenen Ausgestaltung der Vorrichtungen für die Bewegung der Thore und Umlaufcanalschützen am Binnen- und Außenhaupt der Schleusen gestaltet sich der gewöhnliche Betrieb außerordentlich einfach. Es sei z. B. bei hohem Elbewasserstand soeben ein Schiff in den Canal geschleust worden, und ein zweites will ebenfalls eingehen. Die Schützen und Thore am Binnenhaupt sind noch geöffnet, sie müssen also zunächst geschlossen werden. Der dort dienstthuende Maschinist öffnet die Hintereinanderschaltklappen — viereckige Form mit Bezeichnung *H* — und schließt die Umsteuerungsklappen — abgerundete Form mit Buchstaben *U* — bei beiden zu der betreffenden Schleuse gehörigen Mittelmauermaschinen. Die eine der Maschinen ist mit dem Thorantrieb, die andere mit dem Schützenantrieb gekuppelt, und dasselbe ist bezüglich der Seitenmauermaschinen der Fall. Sobald der Maschinist die Absperrventile öffnet, kommen beide Thorflügel und beide Schützen in Bewegung und verschließen, sofern die Hintereinanderschaltung vollständig dicht ist, ihre Oeffnungen, ohne daß der Maschinist etwas weiteres zu thun hat, als gegen Ende der Bewegung die Absperrventile nach und nach zuzudrehen, sodaß die Bewegung verlangsamt wird, und harte Stöße beim Erreichen der Endstellung der Thore und Schützen vermieden werden. Das Schütz vollzieht seine Bewegung in 90 Secunden, der Thorflügel in 110 Secunden, der Maschinist kann also beide Antriebe gleichzeitig bedienen; das Schütz ist bereits in seiner Endstellung angelangt, wenn das Absperrventil der Thormaschine sein Eingreifen erfordert. Sobald das Thor und die Schützen am Binnenhaupt geschlossen sind, können die Umlaufcanalschützen am Außenhaupt geöffnet, also gehoben werden. Der daselbst dienstthuende Maschinist hat bereits die Hintereinanderschalt- und ebenso die Umsteuerungsklappen bei den beiden in Frage kommenden Mittelmauermaschinen geöffnet, er öffnet nunmehr das Absperrventil der mit dem Schützenantrieb gekuppelten Maschine durch Drehen des zu diesem Ventil gehörigen, etwa 1 m über die Maschinenkammerdecke hinausragenden und somit sehr bequem zu bedienenden Steckschlüssels, und sogleich heben sich die Schützen sowohl in der Mittelmauer wie in der Seitenmauer. Nachdem sich der Wasserstand in der Schleuse durch die Umlaufcanäle mit dem Elbewasserstand ausgeglichen hat, wird auch das Absperrventil an der die Thorbewegung herbeiführenden Maschine geöffnet, die Thore gehen auf, und wenn sie ganz geöffnet sind, ist die Schleuse für die Einfahrt des zweiten Schiffes bereit gestellt.

Aus dieser Darstellung des Vorganges beim Schleusen geht hervor, daß beim planmäßigen Betriebe der Bewegungsvorrichtungen der Schleusen alle vorzunehmenden Arbeiten durch einfache, keinerlei Kraftaufwand beanspruchende Handleistungen der beiden dienstthuenden Maschinisten bewirkt werden. Dabei erfolgen die einzelnen Bewegungen so schnell, daß bei mäßigem Wasserstandsunterschiede eine Schleusung nur 10 bis 12 Minuten Zeit beansprucht.

Die Anordnung der Maschinen und Triebwellen im Mittelhaupt der Schleusen. Während am Außen- und Binnenhaupt die Bewegungsvorrichtungen der beiden nebeneinander liegenden Schleusen vollständig von einander getrennt sind und nur aus der gemeinschaftlichen Druckwasserrohrleitung ihre Triebkraft empfangen, ist die Maschinenanlage der Sperrthore mit besonderer Rücksicht darauf eingerichtet, daß das Schließen der Thore beider Schleusen und das Hochziehen der die Oeffnungen in den Thorflügeln abdichtenden Schützen zu gleicher Zeit und gleichmäßig erfolgt. Hierauf mußte besonderer Werth gelegt werden, weil nach dem Schließen des Sperrthores der einen Schleuse in der zweiten Schleuse eine stärkere Strömung entsteht, und

dadurch die Gefahr herbeigeführt werden kann, daß die Thore der zweiten Schleuse infolge des größeren Kraftanriffes, dem sie dann beim Schließen ausgesetzt sind, beschädigt werden.

Die Antriebe der Sperrthore entsprechen in allen Einzelheiten den Antrieben der Ebbe- und Fluththore, nur in zwei Richtungen weisen sie Unterschiede gegen diese auf. In Holtenau liegt nämlich die Decke des oberen Zahnstangenkastens bildende Riffelblech nicht bündig mit dem Maschinenkammer-Fußboden, sondern der Kasten ragt um 25 cm über diesen hervor, und außerdem liegen die Schnecken zwar wagerecht, aber rechtwinklig zur Längsachse der Schleuse, während sie bei den Fluth- und Ebbethorantrieben gleichlaufend zu dieser angeordnet sind. In den Seitenmauern ist an jede Schnecke eine kurze Triebwelle (Abb. 4 auf Bl. 38) angeschlossen, die an ihrem anderen Ende mit der Kurbelwelle einer Druckwassermaschine verbunden ist. In jeder Seitenmauer-Maschinenkammer befinden sich also zwei Druckwassermaschinen, und zwar leisten diese, ebenso wie die Maschinen der sechs Spille an den Enden der drei Schleusenmauern, je 40 Pferdekräfte. Die Verbindung der Schneckenwelle mit der kurzen Triebwelle wird durch eine ausrückbare Kupplung gebildet. In der Mittelmauer sind die Schneckenwellen der beiden Fluth-Sperrthorflügel und ebenso die Schneckenwellen der beiden Ebbe-Sperrthorflügel (Abb. 2 auf Bl. 38) durch wagerechte, rechtwinklig zur Schleusenlängsachse gerichtete Wellen verbunden, und in jede dieser beiden Wellen ist die Kurbelwelle einer Druckwassermaschine von 40 Pferdekräften Nutzleistung eingebaut. Der Anschluß der wagerechten Wellen an die Schneckenwellen wird ebenso wie in den Seitenmauern durch ausrückbare Kupplungen gebildet. Aufser diesen beiden Maschinen sind weitere Maschinen in der Mittelmauer nicht vorhanden, es stehen also zum Bewegen der acht Sperrthorflügel und ihrer Schützen sechs Maschinen zur Verfügung.

Die Antriebe der Thorschützen sind zu einem Theil bereits bei der Beschreibung der Sperrthore erläutert worden. Danach erfolgt die Hebung und die Senkung der Schützen mit Hilfe von Ketten durch die Drehung von Kettennüssen, die in je eine wagerechte, auf jedem Thorflügel gelagerte Welle eingebaut sind. Diese Wellen, also für jeden Thorflügel eine, sind bis in die Maschinenkammer hinein fortgesetzt und durchdringen die Wände der Kammern in Canälen, die im Schleusenmauerwerk ausgespart und gegen die Schleuse hin derart abgedichtet sind, daß sich das Wasser nicht aus der Schleuse in die Maschinenkammern ergießen kann. Da die Schleusenthore geöffnet und geschlossen werden, durften die Kettennußwellen nicht ohne weiteres in die Maschinenkammern hinein verlängert werden; es mußte vielmehr dafür Sorge getragen werden, daß die Bewegbarkeit der Thorflügel durch die Wellen nicht eingeschränkt wird. Jede Welle besteht deshalb aus drei Theilen. Der Theil mit den Kettennüssen ist derartig auf dem Thorflügel gelagert, daß er sich wohl drehen läßt, sonst aber seine Lage zum Thor nicht ändert. Der Theil der Welle innerhalb der Maschinenkammer und des im Schleusenmauerwerk ausgesparten Canals läßt sich sowohl drehen, wie auch in seiner Längsrichtung verschieben. Der dritte Theil, eine kurze Welle, ist durch je ein Doppelgelenk mit den beiden anderen Wellentheilen verbunden. Liegt der Thorflügel am Drempe, dann haben die drei Wellentheile eine wagerechte gerade Linie als gemeinschaftliche Längsachse, und nur dann ist eine Bewegung der Welle nothwendig; während des Oeffnens oder des Schließens der Thorflügel ist die Hebung oder die Senkung der Schützen nie erforderlich, ebensowenig während der Zeit, wenn der Thorflügel in seiner Nische liegt.

Der in die Maschinenkammer hineinragende Theil der Welle ist sowohl in dem Canal, der im Schleusenmauerwerk ausgespart ist, als auch in den Wandungen eines Gehäuses gelagert, das in Holtenau an der Decke der Maschinenkammer angebracht ist, in Brunsbüttel jedoch wegen der anderweitigen Höhenlage des Maschinenkammerfußbodens zu der Kettennußwelle auf dem Fußboden aufgestellt ist. In den Abb. 1, 2 und 4 auf Bl. 38 ist die Holtenauer Anordnung dargestellt; auf die Anordnung in Brunsbüttel wird im folgenden nicht näher eingegangen werden, da diese in der baulichen Ausbildung keinerlei grundsätzliche Abweichungen von der Holtenauer Ausführung bietet. In ihren Lagern muß sich die Welle verschieben können, wenn das Thor geöffnet oder geschlossen wird. Sie ragt nämlich am weitesten in die Maschinenkammer hinein, wenn der Thorflügel am Drempe liegt, da ihr Ende in der Maschinenkammer dann um die Länge der Welle selbst und um die Länge der mittleren, mit den zwei Doppelgelenken versehenen Welle von dem Ende der auf dem Thorflügel unverschieblich gelagerten Kettennußwelle entfernt sein muß. Je mehr sich der Thorflügel beim Oeffnen seiner Nische nähert, desto mehr zieht sich die Welle aus der Maschinenkammer heraus, das Gehäuse ist aber so angebracht, daß die Welle auch bei ihrer äußersten Stellung noch in beiden Wandungen gelagert ist. Innerhalb des Gehäuses befindet sich auf der Welle ein Schneckenrad, das jedoch mit ihr, der Verschiebung wegen, nicht fest verbunden werden durfte, sondern derartig auf der Welle aufsitzt, daß diese sich unabhängig von dem Schneckenrad verschieben kann, jede Drehung des Rades aber mitmachen muß. In das Schneckenrad greift eine lothrecht angeordnete Schnecke ein, die einen Theil einer stehenden Welle bildet. Die Welle ist oben in dem Gehäuse gelagert, durchdringt dessen Wandungen in einem Halslager und steht mit ihrem unteren Ende nochmals in einem Spurlager. Dicht oberhalb dieses letzteren Lagers trägt sie ein Kegelrad, in das ein zweites Kegelrad eingreift, das mit einer wagerechten, mit der Längsachse der Schleuse gleichlaufenden Welle durch eine ausrückbare Kupplung verbunden ist. Sobald die Welle gedreht wird, heben oder senken sich auch die Schützen je nach der Umdrehungsrichtung der Welle, sofern die Kupplung eingerückt ist.

Die wagerechte Welle dient zwei Thorflügeln, die zu derselben Schleusenöffnung gehören und von derselben Mauer aus bewegt werden, es ist also in jeder Seitenmauer nur eine solche Welle vorhanden, während in der Mittelmauer zwei vorgesehen sind. Getrieben werden die Wellen durch Kegelgetriebe, die jede Welle mit den beiden, in der Maschinenkammer vorhandenen Druckwassermaschinen verbinden und nicht ausrückbar sind. Dagegen sind die Wellen durch zwei ausrückbare Kupplungen in drei Theile getheilt. An den mittelsten Wellentheil schließens die Antriebe für die Schützen der beiden Thorflügel an, und außerdem sind in denselben auch die drei Stirnräder für die Vorgelege des von jeder der vier Wellen getriebenen Spills eingebaut.

Infolge dieser Anordnung der Kupplungen kann jede der beiden in den Maschinenkammern vorhandenen Druckwassermaschinen die Schützen jedes zu der betreffenden Mauer gehörigen Thorflügels und die Spille bewegen, und ebenso können hierzu beide Maschinen gemeinsam herangezogen werden. Dagegen können wohl die in den Sperrthormaschinenkammern aufgestellten Druckwassermaschinen gemeinsam entweder die Ebbe- oder Fluth-Sperrthore bewegen, es ist aber nicht ohne weiteres möglich, daß die in der Nähe des Ebbe-Sperrthorantriebes aufgestellte Maschine einen Fluth-Sperrthorflügel bewegt. Soll dieses ausnahmsweise einmal erfolgen, etwa weil die dem Fluththor benachbarte Maschine unbrauchbar geworden ist, dann muß erst die Scheiben-

kupplung, die zur Verbindung der Kurbelwelle der schadhaften Maschine mit den Triebwellen dient, durch Entfernung der Verbindungsschraubenbolzen gelöst werden.

Bei dem planmäßigen Sperrthorbetriebe werden die Kupplungen so gestellt, daß in jeder Maschinenkammer die dem Thorflügel benachbarte Maschine die Thorbewegung, die von dem Thorflügel weiter entfernte Maschine die Bewegung der Schützen dieses Flügels bewirkt. Wenn also die Fluthsperrthore in Benutzung genommen werden sollen, dann werden die nach dem Aufsenhafen zu stehenden drei Maschinen zum Bewegen der Thore, die nach dem Binnenhafen zu stehenden drei Maschinen zum Bewegen der Schützen dienen. Bei Benutzung der Ebbesperrthore ist es umgekehrt. Die Leistung der Maschinen ist so bemessen, daß unter den gewöhnlichen Betriebsverhältnissen mit Hintereinanderschaltung gearbeitet werden kann, und deshalb ist die Maschinenstärke gegenüber den Maschinen im Binnen- und Aufsenhaupt auf 40 Pferdekräfte erhöht. Die Hintereinanderschaltung erfolgt derartig, daß in die Mittelmauermaschine geleitete Druckwasser nach Durchströmung dieser Maschine nach der südlichen Seitenmauer und in die dortige Maschine geführt wird, dann aber noch weiter nach der nördlichen Seitenmauer geht und hier erst hinter der Maschine in das Abwasser — oder in Brunsbüttel in die Rücklaufleitung — gelangt. Diesem Vorgange entsprechend mußten auch die Umsteuer- und Hintereinanderschaltvorrichtungen in dem Mittelhaupt der Schleusen einige Aenderungen gegenüber diesen Vorrichtungen im Binnen- und Aufsenhaupt erleiden. Diese Unterschiede beziehen sich jedoch nicht auf die Gehäuse und deren Verbindung mit den Maschinen und untereinander, auch nicht auf die Schieber und deren Bewegung durch die Deckel der in die Maschinenkammerdecken eingebauten Kasten, alle diese Einzeltheile weisen vielmehr keinerlei Unterschiede auf. Es war nur nöthig, mit dem Umsteuern einer Mittelmauermaschine zugleich die zugehörigen Maschinen in beiden Seitenmauern umzusteuern, und deshalb mußten die beiden äußeren Canäle in dem Schieberspiegel des kleinen Umsteuergehäuses sowohl durch Rohrleitungen mit den Endtheilen des großen Schiebergehäuses an der Mittelmauermaschine als auch mit diesen Endtheilen an den beiden Seitenmauermaschinen in Verbindung gesetzt werden, und außerdem mußte an den Maschinen in der südlichen Seitenmauer je ein großes Hintereinanderschaltgehäuse angebracht werden, dessen Schieber in seiner Stellung von dem Schieber des kleinen Hintereinanderschaltgehäuses der zugehörigen Mittelmauermaschine abhängig ist.

Beim Bewegen der Sperrthorschützen kann wohl von den Schleusenmauern aus erkannt werden, daß die Schützen ihre oberste Stellung erreicht haben und demgemäß die Bewegungsvorrichtungen außer Betrieb zu setzen sind. Dagegen kann nicht erkannt werden, ob die Schützen bereits ihre unterste Stellung erreicht haben, da sie dann tief unter Wasser liegen. Werden die Schützen zu lange mit voller Geschwindigkeit heruntergefahren, dann werden sie beim Erreichen der untersten Stellung plötzlich in ihrer Bewegung gehemmt, da sie sich auf die an den Thorflügeln angebrachten Consolen aufsetzen, und dabei können leicht Kettenbrüche eintreten. Deshalb sind an den Thorflügeln Zeiger angebracht, die der Zahl der Umdrehungen der auf den Thoren gelagerten Kettenußwellen entsprechend wagerecht verschoben werden, bei der Annäherung der Schützen an die Endstellungen jedoch mit ihren Endtheilen eine lothrechte Stellung einnehmen. Der nach der Schlagsäule zu gelegene Endtheil des Zeigers wird beim Heben der Schützen bis zur senkrechten Stellung gehoben, der nach der Wendesäule zu gelegene Endtheil beim Senken der Schützen ebenso gesenkt. Die Zeiger

sind weiß gestrichen und heben sich von den schwarz gestrichenen Thoren auch bei Nacht und regnerischem Wetter so scharf ab, daß die Lage der Schützen jederzeit mit ausreichender Sicherheit beurtheilt werden kann.

## 2. Die Rohrleitungen der Schleusen.

Die das Druckwasser erzeugenden Prefschleusen der Central-Maschinenanlagen in Brunsbüttel und Holtenau fördern das Wasser in zwei Rohrstränge, die innerhalb der Gebäude der Central-Maschinenanlagen liegen, mit den Accumulatoren in Verbindung stehen und an dem einen Ende auch mit einander verbunden sind. Die beiden anderen Enden der Rohrleitung werden in einem begehbaren unterirdischen Canal, der der Lage der Central-Maschinenanlagen entsprechend in Holtenau an das Aufsenhaupt der Schleusen, in Brunsbüttel an das Binnenhaupt anschliesst, nach den Schleusen weitergeführt. Innerhalb der Gebäude der Central-Maschinenanlage sowie in dem Canal liegen die beiden Rohre neben einander, beim Eintritt in die Schleusen trennen sie sich jedoch. Der eine Arm führt in den Rohrcanälen der südlichen Schleusen weiter, der andere Arm steigt durch den Einsteigeschacht hinunter in den Tunnel, der an diesem Ende — also in Brunsbüttel am Binnenhaupt, in Holtenau am Aufsenhaupt — unter den Schleusen durchführt. In diesem Tunnel verläuft die Leitung bis zu dem in der Mittelmauer angeordneten Einsteigeschacht, sendet hier einen Abzweig in die Höhe und geht dann weiter bis zu dem Ende des Tunnels unter der nördlichen Seitenmauer. In dem Einsteigeschacht daselbst steigt sie aufwärts, läuft dann in der nördlichen Seitenmauer bis zum anderen Ende der Schleuse, steigt hier wieder hinunter in den an diesem Schleusen-Ende angeordneten Tunnel und verläuft in diesem zunächst wieder bis zur Mittelmauer. Nachdem hier eine Zweigleitung in dem Einsteigeschacht in die Höhe gesendet ist, läuft die Druckleitung in dem Tunnel bis zur südlichen Schleusenmauer weiter, steigt dort in dem Einsteigeschacht in die Höhe, geht dann in der Mauer weiter und vereinigt sich in dieser mit dem zweiten, von der Central-Maschinenanlage kommenden Strang. Da auch die beiden, in den Einsteigeschächten der Mittelmauer hochgeführten Zweigleitungen bis zu ihrem Zusammentreffen verlängert sind, so bildet die gesamte Druckrohrleitung einen Ring. An diesen Ring sind in der Central-Maschinenanlage die drei Prefschleusenmaschinen als Druckwassererzeuger und die beiden Accumulatoren als Druckwasser-Vorrathsbehälter mit je einem Leitungsrohr angeschlossen, und ebenso zweigt in den Schleusen für jede der dort aufgestellten 28 Druckwassermaschinen ein Zuleitungsrohr ab. Da die Druckwasserleitung einen vollständigen Ring bildet, so fließt jeder einzelnen Maschine der Schleusen das Wasser von zwei Seiten zu, und damit wird der durch die Reibung des Wassers an den Rohrwänden entstehende Druckhöhenverlust auf die Hälfte herabgemindert, außerdem aber wird die Betriebssicherheit der Leitung sehr wesentlich erhöht. Wenn nämlich der eine von den beiden Wegen, die dem Druckwasser nach jeder Maschine geboten sind, durch einen Schaden an der Leitung versperrt ist, dann steht dem Druckwasser noch immer der zweite Weg nach der Maschine offen, die Maschine wird also nur dann und nur so lange betriebsunfähig sein, als der Schaden an der Leitung so groß ist, daß diese überhaupt nicht mehr in der Lage ist, Druckwasser zu führen.

Die Druckwasserleitungen sind aus einzelnen, 5 m langen, starkwandigen schmiedeeisernen Rohren und aus besonders kräftig ausgebildeten gusseisernen Formstücken zusammengesetzt. Sie haben durchweg 100 mm lichte Weite, nur in Holtenau hat der eine der beiden, von der Centralmaschinen-

anlage nach der Schleuse führenden Rohrstränge 150 mm Lichtweite erhalten. Die Verbindung der einzelnen Rohre untereinander ist mit der der Maschinenbauanstalt von C. Hoppe in Berlin unter Nr. 52 877 im Deutschen Reich patentirten

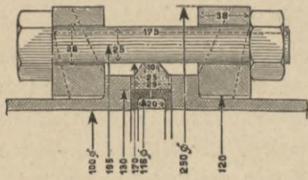


Abb. 248. Flanschdichtung der 100 mm im Lichten weiten Druckwasserleitung.

„Flanschdichtung für beiderseits glatte Flanschen und hohen inneren Druck“ erfolgt. Die Verbindungen sind jedoch nicht vollständig nach der zur Patentschrift gehörigen Zeichnung ausgeführt, sondern in der durch die Text-Abb. 248 dargestellten Anordnung. Die Dichtung erfolgt durch eine Lederstulpe, die sich unter der Einwirkung des hohen inneren Druckes gegen die glatten Enden der Rohre und die innere Fläche des äußeren Ringes anpreßt und durch den inneren Ring in ihrer Lage erhalten wird. Diese Dichtung, die auch beim Anschluß der schmiedeeisernen Rohre an die gußeisernen Formstücke verwandt worden ist, hat sich durchaus bewährt; sie wurde gewählt, weil sie den Ersatz eines schadhaft gewordenen Rohres durch ein neues in hohem Maße erleichtert. Es kann nämlich jedes Rohr aus dem Rohrstrang herausgenommen werden, ohne daß man die anderen Rohre lösen muß, und das dafür einzusetzende Rohr kann ohne Schaden etwas kürzer als das herausgenommene sein. Dabei kann das Auswechseln bequem in einer halben Stunde ausgeführt werden. Ist ein Pafrohr schadhaft geworden, für das ein Ersatzstück nicht vorhanden ist, sondern erst angefertigt werden muß, dann wird das schadhafte Rohr herausgenommen, und die Enden der Nachbarrohre werden durch Blindflanschen geschlossen. Dann bildet die Leitung allerdings keinen Ring mehr, aber der Maschinenbetrieb kann doch vollständig aufrecht erhalten werden, und der Ersatz des Formrohres kann bis auf eine gelegene Zeit verschoben werden. Solche Gelegenheit bietet sich in Brunsbüttel alltäglich, da die Schleusen während eines Theiles der Ebbe offen stehen und während dieser Zeit die Bewegungsvorrichtungen außer Betrieb gesetzt werden können. In Holtenau liegen die Verhältnisse in dieser Beziehung noch günstiger, da die dortigen Schleusen zumeist geöffnet sind. Von sämtlichen gußeisernen Formstücken ist übrigens mindestens je ein Ersatzstück vorhanden.

Die Druckwasserleitungen liegen innerhalb der Maschinenkammern und in den Verbindungsgängen zwischen den Kammern in wasserfreien Canälen, die in der Sohle der Kammern und Gänge ausgespart sind und in den Kammern mit Riffelblechplatten und in den Gängen mit Holztafeln abgedeckt sind, sodafs der Verkehr der Bedienungsmannschaften und der Aufsichtsbeamten in diesen Räumen durch die Canäle nicht erschwert wird. Die Rohre liegen nicht auf der Sohle der Canäle, sondern sie sind mit Drahtschlingen an Flacheisen aufgehängt, die quer über den Canälen unter der Abdeckung derselben liegen und leicht entfernt werden können. Infolge der Aufhängung können sich die Rohre bei Wärmeänderungen ohne jedes Hindernis verschieben. Diese Längenänderungen der Rohre sind übrigens geringfügig, da die Wärmeschwankungen der Rohre nur klein sind, und sie finden ihren Ausgleich in den zahlreichen Krümmungen, die den Rohren beim Durchgang durch die Schützengruben und unter mehreren Zahnstangenkasten, sowie beim Hinabsteigen in den Einsteigeschächten und beim Fallen und Steigen der Rohre in dem Uebergang von den Maschinenkammern am Außen- und Binnenhaupt zu den tiefer liegenden Verbindungsgängen gegeben werden mußten. In den Canälen sind die Rohre jederzeit und ohne weiteres für Instandhaltungs- und Instandsetzungs-

arbeiten zugänglich, nur in den unter den Schleusen durchführenden Tunneln ist dieses nicht immer der Fall. Wie bereits früher mitgeteilt wurde, ist es nicht gelungen, die Wandungen dieser Tunnel vollständig wasserdicht herzustellen, und noch weniger dicht sind die Wände der den Umlaufcanälen sehr naheliegenden Einsteigeschächte. Infolge dessen füllen die Tunnel sich allmählich mit Wasser, wenn die in denselben vorgesehenen, mit Druckwasser betriebenen Wasserheber nicht täglich zum Entfernen des eingedrungenen Wassers angestellt werden. Da der Betrieb der Wasserheber ziemlich viel Druckwasser erfordert, so wird nicht täglich gelenzt, sondern die Tunnel werden nur dann entleert, wenn eine Besichtigung der in ihnen verlegten Rohre und Kabel stattfinden soll, oder wenn an den Rohren und Kabeln Arbeiten vorzunehmen sind. Tritt nun ein Schaden an dem in einem der Tunnel liegenden Rohrstrange ein, so kann er im allgemeinen nicht sofort beseitigt werden, da zuvor der Tunnel leer gepumpt werden muß, was immerhin etwa 24 Stunden Zeit beansprucht. Während dieser Zeit wird die Leitung im Tunnel durch Schließen von Absperrventilen, die in jeder Maschinenkammer am Außen- und Binnenhaupt dicht neben den Einsteigeschächten vorgesehen sind, ausgeschaltet. Außer diesen sechs Ventilen sind weitere Absperrventile in der Druckwasser-Ringleitung nicht vorgesehen, da die Rohrstränge in den Maschinenkammern und Gängen leicht zugänglich sind und infolge der gewählten Anordnung der Rohrverbindungen die Beseitigung etwaiger Undichtigkeiten leicht und schnell bewirkt werden kann.

An die Druckwasserleitung sind sowohl in Brunsbüttel wie in Holtenau angeschlossen:

- 28 Druckwassermaschinen,
- 18 Windkessel, in jeder Maschinenkammer zwei,
- 10 Hintereinanderschalt- und 10 Umsteuervorrichtungen auf der Mittelmauer,
- 10 Zweigleitungen zum Einlassen von Druckwasser in die Hintereinanderschaltleitungen,
- 18 Einrückvorrichtungen für die Vorgelege der Spille,
- 3 Wasserheber zum Leerpumpen der Tunnel unter den Schleusen und
- 24 Thorflügel für den Betrieb der Lenz- und Lüftungs-vorrichtungen.

Die beiden erstgenannten und die letztgenannten Anschlüsse sind mit Hilfe von gußeisernen, in die Druckwasserleitung eingebauten T-Stücken erfolgt, für alle übrigen Anschlüsse sind die Dichtungen der Rohre benutzt. Es ist nämlich der äußere Ring dieser Dichtungen mit einem Rohrstutzen versehen, und der Lichtweite des abzweigenden Rohres entsprechend sind auch die Lederstulpe und der innere Ring durchbohrt. Die Zweigleitungen für den Anschluß der Druckwassermaschinen und der Windkessel sind durchweg 55 mm weit, in diese ist je ein entlastetes Absperrventil eingelegt. Die Text-Abb. 249 zeigt die Ausbildung dieser Ventile, die, soweit sie zu den Druckwassermaschinen gehören, von der Decke der Maschinenkammern aus geöffnet und geschlossen werden können. Infolge der für das Ventil gewählten Durchbildung ist beim Anheben des den Verschluss herbeiführenden ringförmigen Metallkörpers A nur eine Kraft aufzuwenden, die dem auf die nur 2 mm breite ringförmige Sitzfläche des Ventils wirkenden Wasserdruck entspricht. Auf den Vierkant der Ventile ist eine Verlängerungsstange aufgesetzt, die an ihrem oberen Ende in einem in die Maschinenkammerdecke eingebauten Kasten geführt ist. Dieser Kasten enthält zugleich das Lager für die Arme eines Steckschlüssels. Wird der Deckel des Kastens geöffnet, dann wird der Steckschlüssel zugänglich und kann auf die Verlängerungsstange behufs Bedienens des Absperrventils aufgesetzt werden. Der Steck-

schlüssel und der obere Theil der Verlängerungsstange sind als Sprachrohr ausgebildet, sodafs sich der in der Maschinenkammer thätige Maschinenwärter mit dem oben auf der Schleuse diensthühenden Maschinisten verständigen und von ihm Aufträge empfangen kann, ohne dafs diese Leute das engere Gebiet ihrer Thätigkeit zu verlassen brauchen. Ist ein Absperrventil nicht weiter zu bedienen, dann legt der Maschinist die Arme des Steckschlüssels wieder in ihre Lager ein und schliesst den Deckel des Kastens. Dann hängt der Schaft des Steckschlüssels lothrecht in die Maschinenkammer hinein und die Maschinenkammerdecke bildet wieder eine ebene Fläche. Die Deckel der zu den Absperrventilen gehörigen

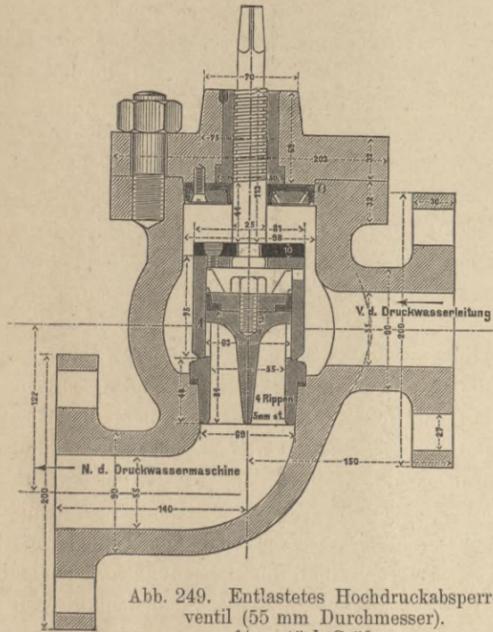


Abb. 249. Entlastetes Hochdruckabsperrventil (55 mm Durchmesser).  
2/5 natürl. Gröfse.

Kasten sind zum Unterschiede von den Klappen der Umsteuer- und Hintereinanderschaltvorrichtungen mit dem Buchstaben V versehen. In die Zweigleitungen der Seitenmauermaschinen sind aufser den Absperrventilen aus den früher bereits mitgetheilten Gründen noch Rückschlagventile für den Anschluss der Hintereinanderschaltleitungen eingebaut.

Wenn ein Absperrventil an einer im Betrieb gewesenen Druckwassermaschine geschlossen wird, dann müssen die Wassermengen in den Rohrleitungen aus dem Zustande der Bewegung in den der Ruhe übergeführt werden, und dabei entstehen besonders dann, wenn das Schliesen des Ventils sehr schnell erfolgt, in den dem Ventil benachbarten Theilen der Rohrleitungen starke Drucksteigerungen. Ebenso veranlasst der ungleichmäßige Wasserverbrauch der in Betrieb befindlichen Druckwassermaschinen solche Druckschwankungen. Um die hieraus etwa entstehenden zu starken Beanspruchungen der Röhre und Formstücke möglichst zu vermeiden, sind in jeder der neun Maschinenkammern in Brunsbüttel und Holtenau je zwei Windkessel aufgestellt und mit den Druckwasserleitungen in möglichst nahe Verbindung gebracht. Diese Windkessel haben die in der Text-Abb. 250 dargestellte Ausbildung. Sie bestehen ebenso wie die Verstärkungsringe aus Schmiedeeisen und sind mit einem Manometer und einem Luftventil versehen. Da die

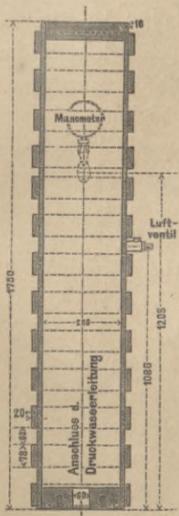


Abb. 250. Lothrechter Schnitt durch einen Windkessel.  
1:25.

äußere Form der Windkessel unschön ist, sind sie mit gefällig geformten gusseisernen Umhüllungen versehen.

Die Anschlussleitungen der Umsteuer- und Hintereinanderschaltvorrichtungen sowie der Einrückvorrichtungen für die Vorgelege der Spille sind sämtlich mit starkwandigen Kupferröhren hergestellt; sie bieten ebenso wie die Anschlussleitungen der Wasserheber für die unter den Schleusen hindurch führenden Tunnel und die Leitungen nach den Thoren nichts bemerkenswerthes.

Die Hintereinanderschaltleitungen entsprechen in ihrer Ausbildung vollständig den Druckwasserleitungen. Im Binnen- und Aufsenhaupt führt von jeder Mittelmauermaschine eine 70 mm im lichten weite Leitung zu der in derselben Schleusen-Querachse befindlichen Maschine der zugehörigen Seitenmauer. Diese Leitung schliesst in der Mittelmauer an das große Hintereinanderschaltgehäuse an, führt von hier hinunter nach dem Rohrcanal, verläuft in diesem bis zu dem zunächst gelegenen Einsteigeschacht und steigt darin nieder. Im Tunnel läuft sie nach der zugehörigen Seitenmauer, steigt dort in dem Einsteigeschacht in die Höhe, geht in dem Rohrcanal der Seitenmauer weiter und schliesst an das Rückschlagventil in der von der Druckwasserleitung nach der dortigen Maschine führenden Zweigleitung an. Im Binnen- und im Aufsenhaupt sind von den vier Maschinen der Mittelmauer zwei in der eben beschriebenen Weise mit je der zugehörigen Maschine in der südlichen Seitenmauer und zwei mit je der zugehörigen Maschine in der nördlichen Seitenmauer verbunden. Im Sperrthorhaupt stehen die beiden Maschinen der Mittelmauer nur mit den Maschinen der südlichen Seitenmauer in Verbindung. Die Verbindungsleitung ist 100 mm im lichten weit, sie ist im übrigen, mit der einen Ausnahme, dafs hier der mittlere Tunnel unter den Schleusen benutzt wird, genau in derselben Weise wie am Aufsen- und Binnenhaupt geführt. Von den großen Hintereinanderschaltgehäusen der beiden südlichen Seitenmauermaschinen geht ferner je eine Leitung ab, die in dem Rohrcanal dieser Mauer nach dem Einsteigeschacht des mittleren Tunnels geführt ist, in diesem niedersteigt, dann in dem Tunnel bis zur nördlichen Schleusenmauer verläuft, in dem dortigen Einsteigeschacht in die Höhe steigt und in dem Rohrcanal der nördlichen Schleusenmauer bis zu dem Rückschlagventil weitergeführt ist, das auch dort in die Verbindungsleitung zwischen jeder Maschine und der Druckwasserleitung eingebaut ist.

Die Rohrleitungen, die von den kleinen Schiebergehäusen der Umsteuer- und den Hintereinanderschaltvorrichtungen nach den Endtheilen der großen Schiebergehäuse führen, bestehen, soweit sie oberhalb des Fußbodens der Maschinenkammern liegen, aus Kupferröhren, während sie unterhalb des Fußbodens der Kammern aus besonders starkwandigen schmiedeeisernen Röhren von 23 mm lichterWeite, sogenannten Perkinsröhren, zusammengesetzt sind. Die Leitungen verfolgen in den Rohrcanälen, Einsteigeschächten und Tunneln genau denselben Weg wie die Hintereinanderschaltleitungen. Die Verbindung der einzelnen Rohre mit einander ist durch Muffen erfolgt.

Eine Rücklaufleitung ist nur in Brunsbüttel angelegt, weil dort die Beschaffung von Wasser, das sich für die Bewegungsverrichtungen der Schleusen eignet, Schwierigkeiten machte und die nicht unbeträchtliche Wassermenge mit verhältnismäßig hohen Aufwendungen in der Nähe des Kudensees hätte gewonnen und durch das dicht bei km 7 aufgestellte Pumpwerk nach Brunsbüttel gefördert werden müssen. In Holtenau stand brauchbares Wasser in ausreichender Menge zur Verfügung.

Die Rücklaufleitung in Brunsbüttel entspricht sowohl in der Linienführung als auch in allen Einzelheiten genau der

Druckwasserleitung, nur haben die verwandten Rohre geringere Wandstärken.

An sämtlichen Rohrleitungen sind ebenso wie an den Maschinen und den Umsteuer- und Hintereinanderschaltvorrichtungen überall die erforderlichen Entlüftungs- und Entwässerungsventile angebracht, ebenso fehlen der Rücklaufleitung in Brunsbüttel nicht die erforderlichen Belüftungsventile und Windkessel. Sämtliche schmiedeeisernen Rohre waren bei der Anlieferung innen und außen mit einem Überzug von Bernstein-Asphaltlack versehen, nach der Fertigstellung der Leitungen wurden sie außen noch zweimal mit dem gleichen Lack gestrichen. Nach dem Verlegen der Rohre wurde die Rücklaufleitung mit 30 Atmosphären Probedruck geprüft, die übrigen Leitungen aber wurden unter 120 Atmosphären Innendruck gesetzt und mußten dabei vollständig dicht sein.

### 3. Die Heizungsanlage für die Maschinenkammern und die Verbindungsgänge der Schleusen.

Der Schiffahrtsbetrieb soll im Kaiser Wilhelm-Canal auch während des Winters ungestört seinen Fortgang nehmen. Damit war aber auch die Nothwendigkeit gegeben, die Schleusen an den beiden Mündungen unbekümmert um die Stärke und die Dauer des Frostes im Betrieb zu erhalten. Da die Bewegungsvorrichtungen der Schleusen durch Druckwasser getrieben werden und überdies das Wasser um so leichter gefriert, je stärker es geprefst ist, so mußte darauf Bedacht genommen werden, daß alle diejenigen Räume, in denen sich mit Druckwasser gefüllte Maschinen, Leitungen usw. befinden, derartig geheizt werden können, daß auch bei dem stärksten Frost ein Gefrieren des Druckwassers, das unfehlbar ein Zersprengen der es umgebenden Wände und damit die — wenigstens zeitweilige — Aufserbetriebsetzung der Anlage herbeiführen würde, nicht stattfinden kann. Wasserdampf stand an beiden Canal-mündungen zur Verfügung, da für die Bewegungsvorrichtungen der Schleusen und für die Lichtmaschinen doch stets Dampf vorrätig gehalten werden muß, und da lag es nahe, die Heizung durch eine Dampfheizungsanlage zu bewirken. Diese Anlagen sind der Anforderung entsprechend ausgebildet, daß bei einem Frost von 20° Celsius in den Maschinenkammern noch 10° und in den Verbindungsgängen der Schleusen noch 5° Celsius Wärme erhalten werden können. In jeder der beiden Schleusen in Brunsbüttel und Holtenau sind in den Maschinenkammern 20 aus Perkinsrohr gebildete Heizschlangen aufgestellt, die sich innerhalb gefällig geformter Verkleidungen aus durchlocherten, schmiedeeisernen Blechen mit gufseisernen Verzierungsleisten befinden. Die Vertheilung der Heizkörper über die einzelnen Maschinenkammern in Brunsbüttel ist aus der Abb. 4 auf Blatt 18 und 19 der Abtheilung I dieser Denkschrift zu ersehen, für Holtenau ergibt sich die Vertheilung aus der Abb. 2 auf Bl. 37 und den Abb. 2, 3 und 4 auf Bl. 38 dieser Abtheilung. Der Heizdampf wird den Schlangen durch kleine schmiedeeiserne Zweigleitungen, in die bei jedem Heizkörper ein Absperrventil eingebaut ist, von einer Hauptleitung aus zugeführt. Die Hauptleitung schließt in dem später zu beschreibenden Rohrkeller der Centralmaschinenanlage an die dortige Dampfleitung an und führt, in dem Verbindungscanal zwischen der Centralmaschinenanlage und der Schleuse über den Druckwasserleitung entlang laufend, zunächst bis zu einem in der südlichen Schleusenmauer — in Brunsbüttel am Binnenhaupt, in Holtenau am Aufsenhaupt — aufgestellten Dampfwassertopf. Am Anschluß der Heizleitung an die Dampfleitung in der Centralmaschinenanlage ist ein Absperrventil vorgesehen, außerdem befindet sich im Rohrkeller noch je ein Dampfdruck-Reducirventil und ein Sicherheitsventil. Die Dampfspannung in den Kesseln der

Centralanlage beträgt 6,5 Atmosphären, in den Heizleitungen sollen aber nur 2,5 Atmosphären Dampfspannung herrschen, und diese Verminderung der Spannung wird durch das Reducirventil herbeigeführt. Das Sicherheitsventil soll in Thätigkeit treten, sobald die Spannung in der Heizleitung das zulässige Maß übersteigt. Um dem dienstthuenden Maschinisten in der Halle über dem Rohrkeller, wo die das Druckwasser erzeugenden Maschinen aufgestellt sind, jederzeit einen Einblick in die Spannungsverhältnisse der Heizleitung zu gewähren, ist in dieser Halle ein Manometer angebracht, das mit der Heizleitung hinter dem Reducirventil in Verbindung steht, also nie eine höhere Spannung als 2,5 Atmosphären anzeigen darf. Von dem Dampfwassertopf in der südlichen Seitenmauer gehen zwei Leitungen ab, die sich durch die Maschinenkammern und Verbindungsgänge, sowie durch die beiden an den Enden der Schleusen unter diesen hindurchgehenden Tunnel in derselben Weise hindurchziehen wie die Leitung für das Druckwasser. Die Heizleitung bildet also in den Schleusen einen Ring, während sie im Rohrkeller und in dem Verbindungscanal zwischen der Centralmaschinenanlage und den Schleusen nur aus einem Strang besteht.

In den Maschinenkammern und den Verbindungsgängen sind die Heizleitungen theils an den Decken aufgehängt, theils an den Wänden verschiebbar gelagert, und überall ist durch Einschaltung von Ausdehnungsvorrichtungen und von Dampfwassertöpfen, die mit selbstthätig wirkenden Entleerern ausgestattet sind, dafür Sorge getragen, daß die den Wärmeschwankungen entsprechenden Aenderungen der Leitungslängen sich ausgleichen können und die Niederschlagswassermengen abgeführt werden. Für die Rohrleitungen in den Tunneln ergab sich die Schwierigkeit, daß die Tunnel zumeist mit Wasser gefüllt sind und die Heizleitungen daher mit einer Schutzvorrichtung umgeben werden mußten, die jede Berührung der Wandungen der Heizleitungen mit dem in den Tunneln befindlichen Wasser unmöglich macht. Erreicht ist dieser Schutz dadurch, daß die aus patentgeschweißten schmiedeeisernen Rohren von 76 mm äußerem Durchmesser bestehende und mit Muffenverbindungen versehene Heizleitung innerhalb der Tunnel und der Einsteigeschächte in eine gufseiserne, innen und außen asphaltirte Flanschrohrleitung von 100 mm innerem Durchmesser eingelegt ist. Die Heizleitung wird innerhalb der Umhüllungsleitung durch einzelne Stege geführt, steht jedoch mit ihr in keinerlei fester Verbindung, sodaß beide Leitungen sich unabhängig von einander ausdehnen und zusammenziehen können. Die Leitungen sind in den Tunneln mit Gefälle verlegt, der tiefste Punkt befindet sich beim Einsteigeschacht der Nordmauer. Hier ist dafür Sorge getragen, daß sowohl das Niederschlagswasser der Heizleitung wie auch etwa in die Umhüllungsleitung infolge von Undichtigkeiten derselben eingedrungene Wassermengen selbstthätig entfernt werden. Die gesamten, aus den Leitungen und den Heizkörpern der Heizungsanlage zu entfernenden Wassermengen werden nach den Umlaufcanälen der Schleusen geleitet. In das Schleusenmauerwerk sind zu diesem Zweck schmiedeeiserne verzinkte Rohre eingesetzt, die in den Scheitel der Umlaufcanäle einmünden und an ihrem oberen Ende mit einem Flansch versehen sind, an den die Abwasserrohre anschließen. Der Flansch liegt unter der Rollschicht, die den Fußboden der Maschinenkammern und Gänge bildet; nach Herstellung des Anschlusses wurde die vorher im Fußboden belassene Aussparung geschlossen, sodaß nur das dünne Abwasserrohr in den Fußboden hineingeht. Die Vorrichtungen, durch die das Niederschlagswasser der Heizungsanlage in die Umlaufcanäle selbstthätig abgeführt wird, mußten auch mit einer Einrichtung versehen werden, die der Luft nach dem Abstellen der Heizungsanlage einen Zugang zu den Leitungen

und den Heizschlangen gewährt, weil sonst bei der allmählich fortschreitenden Verwandlung des eingeschlossenen Dampfes in Wasser entweder Luftleere in den Leitungen und Heizschlangen eintreten würde, oder Wasser aus den Umlaufkanälen in dieselben eingesogen werden müßte. Auf alle diese Einzelheiten der Anlage näher einzugehen, würde zu weit führen. Sie mußten aber bei dieser Beschreibung wenigstens angedeutet werden, um das Bild der Heizungsanlage zu vervollständigen und auf alle die besonderen Schwierigkeiten aufmerksam zu machen, die bei der Bauausführung zu überwinden waren.

#### 4. Die Centralmaschinenanlagen in Brunsbüttel und Holtenau.

Die Centralmaschinenanlagen befinden sich an beiden Mündungen südlich von den Schleusen und zwar, wie aus den Lageplänen Abb. 4 u. 5 auf Bl. 6 u. 7 Abth. I zu ersehen ist, in Brunsbüttel nahe dem Binnenhaupt, in Holtenau nahe dem Aufsenhaupt der Schleusen. Zu jeder Centralmaschinenanlage gehören vier Gebäude, die theils aneinanderstossen, theils durch kleine Zwischenbauten mit einander verbunden sind. Diese vier Gebäude sind das Kesselhaus, die Halle für die das Druckwasser erzeugenden Presspumpmaschinen und die zugehörigen Luftsaug-(Evacuations-)Maschinen, der Accumulatorenthurm und das Haus, in dem die Elektrizität erzeugt wird. Neben dieser Gebäudegruppe, aber mit ihr nicht zusammenhängend, befindet sich noch ein kleineres Haus, in dem neben einer Schmiede und einer Schlosserei noch eine mit einigen Maschinen ausgestattete Dreherei und ein Aufbewahrungsraum für feinere Werkzeuge und für Werkstattmaterialien vorgesehen ist. In dieser Werkstatt werden sämtliche kleinere Instandsetzungsarbeiten an den Bewegungsvorrichtungen und Thoren der Schleusen sowie den Beleuchtungsanlagen, soweit sie von den beim Betriebe ständig beschäftigten Maschinisten, Maschinenwärtern und Arbeitern neben ihrem eigentlichen Dienst erledigt werden können, ausgeführt. Außerdem sollen aber diese kleinen Werkstätten bei größeren Instandsetzungsarbeiten, die der in der Nähe von Rendsburg angelegten, später eingehender zu besprechenden Werft übertragen werden, das Nacharbeiten einzelner nicht genau passender Stücke an Ort und Stelle erleichtern. Die Drehbänke sind deshalb auch so bemessen, daß nur die allerlängsten und die stärksten Stücke auf ihnen nicht bearbeitet werden können.

In dem Kesselhause befinden sich fünf Kessel von je 70 qm Heizfläche, von denen auch bei dem stärksten Betriebe nur vier in Benutzung kommen, während der fünfte für die Reinigung und für Instandsetzungsarbeiten zur Verfügung steht. Trotzdem sonach die Zahl der Kessel reichlich bemessen ist, ist das Gebäude doch so eingerichtet, daß noch zwei weitere Kessel darin aufgestellt werden können. Das ist geschehen, um bei etwa eintretendem Bedürfnis die Ufermauern auf der Südseite der Binnenhäfen in Brunsbüttel und Holtenau und die Kohlenhafentmole bei Holtenau mit Druckwasserkränen ausrüsten zu können, ohne bei der dann unter Umständen notwendig werdenden Verstärkung der Kesselleistung Umbauten an dem Kesselhause vornehmen zu müssen. Aus diesem Grunde ist auch der Fuchs und der Dampfschornstein der Centralanlagen für sieben Kessel angelegt. Da der Raum für die beiden Kessel zur Zeit nicht gebraucht wird, ist er zur Einrichtung eines Warmbades, das den beim Canalbetriebe beschäftigten Beamten und Arbeitern unentgeltlich zur Verfügung gestellt wird, benutzt. Die Badeanlage besteht aus zwei Zellen, von denen die eine mit einer Brause, die andere außerdem noch mit einer Wanne ausgestattet ist; sie wird viel benutzt.

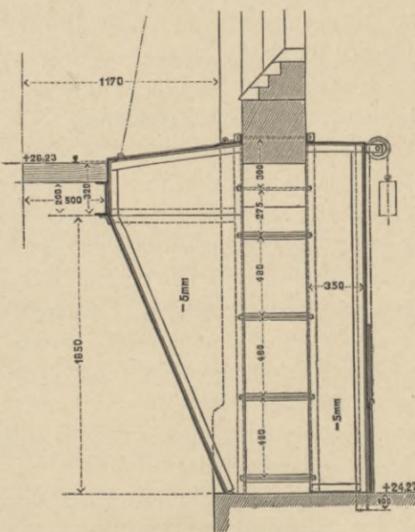
Jeder Kessel besteht aus einem Ober- und einem Unterkessel. Der Unterkessel hat 5300 mm Länge und 1900 mm

lichten Durchmesser, er ist mit Ausnahme seiner Stirnwand vollständig eingemauert. Die beiden Feuerungen befinden sich in zwei Rohren, die durch Galloway-Röhren gekreuzt werden. Der Oberkessel steht durch zwei senkrechte Rohrstützen mit dem Unterkessel in Verbindung, er hat 1650 mm lichten Durchmesser und ist 5160 mm lang. An seine vordere Stirnfläche ist ein Rohr angeschlossen, das etwas über das Kesselmauerwerk vorragt. An diesem sind das Manometer, der Stutzen für das Prüfungs-Manometer sowie die Wasserstandsgläser und die Wasserstandsmarken angebracht. Längs der fünf Kessel ist eine Laufbrücke angeordnet, von der aus die Wasserstandsgläser usw. zugänglich sind. Die Kessel erzeugen Dampf von 6,5 Atmosphären Druck. Von einem auf jedem Oberkessel angebrachten Dom führt eine kupferne Leitung nach dem allen Kesseln gemeinsamen Dampfrohr, das an der einen Längswand des Kesselhauses entlang geführt ist und in der Ecke, die von dieser Längswand und der der Halle für die Druckwassererzeugung zunächst liegenden Giebelwand gebildet wird, bis zu der Decke eines Condensstopfes herabgeführt ist. Der Condensstopf steht in einer Grube, die in dem Fußboden des Kesselhauses ausgespart ist und mit der Sohle genau ebenso hoch liegt wie der Fußboden in dem Keller, der sich unter dem ganzen, zur Aufstellung der Presspumpmaschinen dienenden Gebäude erstreckt. Die Grube und der Keller stehen durch einen unterirdischen, überwölbten Canal mit einander in Verbindung. Das in dem Condensstopf sich ansammelnde Wasser wird aus diesem durch einen selbstthätig wirkenden Wasserabscheider entfernt und in einer gußeisernen Rohrleitung einer Entwässerungsleitung zugeführt, die sowohl in Brunsbüttel wie in Holtenau im Binnenhafen ausmündet und dahin auch das Traufwasser der Gebäude der Centralmaschinenanlagen und die beim Betriebe der Presspumpmaschinen infolge der unvermeidlichen Undichtigkeiten und in Holtenau auch die aus dem später zu erörternden Grunde in den Rohrkeller und den Accumulatorenthurm gelangenden Wassermengen sowie das verbrauchte Wasser aus der oben erwähnten Badeanlage abführt. An die gußeisernen Leitung ist auch die Abblase-Rohrleitung der fünf Kessel angeschlossen.

Zur Speisung der Kessel dienen zwei kleine Dampf-pumpen, die an der der Halle für die Presspumpmaschinen zugekehrten Giebelwand angebracht sind. Die beiden Pumpen sind vollständig unabhängig von einander, und jede einzelne ist in der Lage, das nöthige Speisewasser für sechs in scharfem Betriebe befindliche Kessel zu fördern. Die Pumpen entnehmen das Wasser aus den später zu beschreibenden, über den Accumulatoren aufgestellten Behältern.

Abb. 251. Lothrechter Schnitt durch einen Kohlenbunker in Holtenau.

Um das Kesselhaus möglichst von Kohlenstaub frei zu halten, sind an der den Kesselfeuerungen gegenüber liegenden Längswand des Hauses sechs Kohlenbunker angebracht. Die Brüstungen der acht in dieser Wand vorhandenen Fenster liegen etwa 2,50 m über dem Fußboden des Kesselhauses. Unterhalb dieser Fenster sind in der Wand über-



wölbte Oeffnungen angeordnet, und bei jeder dieser Oeffnungen ist ein Bunker vorgesehen. Die Text-Abb. 251 zeigt die Ausbildung der Bunker in Holtenau; in Brunsbüttel mußten die Bunker eine etwas andere Ausbildung erhalten. In der den Kesseln zugekehrten Längswand der Bunker ist je eine durch einen Schieber zu verschließende Oeffnung angeordnet, die die Entnahme der Kohlen aus dem Bunker gestattet. Die Füllung der Bunker geschieht mittels Muldenkippwagen, die außerhalb des Kesselhauses auf einer an der Längswand desselben angeordneten Pfeilerbahn laufen. Die Schienenoberkante dieser Pfeilerbahn liegt in Holtenau 2,90 m über dem Gelände des Kohlenlagerplatzes. Zur Ueberwindung dieses Höhenunterschiedes ist an dem einen Ende der Pfeilerbahn ein mit Druckwasser betriebener Aufzug angeordnet. Die auf dem Lagerplatz beladenen Kohlenwagen werden auf einem in senkrechter Richtung zur Längsachse des Kesselhauses liegenden Gleise nach dem Aufzug geschoben und können auf diesem, da seine Bühne mit einer Drehscheibe ausgerüstet ist, um 90° gedreht werden. Wird die Bühne dann gehoben, so können die Wagen auf der Pfeilerbahn nach dem jeweilig zu füllenden Bunker verfahren und durch Umkippen in diesen entleert werden. Jeder Wagen enthält rund 600 kg Kohlen, ein Bunker faßt rund 3000 kg, also den Inhalt von fünf Wagen. Zum Füllen sind die Bunker mit einer über ihre ganze Länge ausgedehnten Klappe versehen. Um die Fenster des Kesselhauses gegen Beschädigungen durch Kohlenstücke zu sichern, sind vor ihnen Drahtgitter angebracht. Die Kohlenlagerplätze liegen sowohl in Brunsbüttel wie in Holtenau in der Nähe der Centralmaschinenanlagen. In Holtenau gestattete die Gestaltung des Hafengeländes und die Lage der Gebäude zu der Schleuse die Anlage eines geschlossenen Lagerplatzes, der theils durch die Gebäude selbst, theils durch Zäune und theils endlich durch eine zu Befestigungszwecken hergestellte Mauer begrenzt wird. Auf dem Lagerplatz befindet sich außer den Kohlen und einem kleinen massiven, mit Wellblech abgedeckten Gebäude, in dem die für einen etwa vierwöchentlichen Betrieb erforderlichen Vorräthe an Fetten, Oelen, Petroleum, Putzwolle usw. aufbewahrt werden, noch ein im Anschluß an den einen Zaun hergestellter, theils offener, theils geschlossener Schuppen, in dem die Ersatztheile und die nicht feuergefährlichen Betriebsmaterialien lagern. Infolge dieser Einrichtungen ist dem Obermaschinenisten in Holtenau die Beaufsichtigung seiner Vorräthe in hohem Mafse erleichtert. In Brunsbüttel liefs sich wegen der dortigen beengten räumlichen Verhältnisse eine derartige Anlage nicht schaffen.

Von dem Kesselhaus gelangt man durch einen kleinen Verbindungsbau in die Halle für die Erzeugung des Druckwassers. In der Halle sind drei Prefspumpmaschinen und zwei Luftsaugmaschinen aufgestellt, sie ist jedoch in Rücksicht auf die später etwa nothwendig werdende, oben bereits erwähnte Vergrößerung der Druckwasser-Anlage so lang gemacht, dafs noch eine vierte Prefspumpmaschine in ihr Platz finden würde, auch ist genügender Raum für eine dritte Luftsaugmaschine vorhanden. Sämtliche Maschinen sind auf Mauerwerkskörpern aufgestellt, die durch den Rohrkeller hindurchreichen und bis zur Gründungssohle der Maschinenhalle hinabgeführt sind. Jede Prefspumpmaschine besteht aus einer liegenden Zwillingsdampfmaschine und vier einfach wirkenden Prefspumpen. In Holtenau gehört zu jeder Prefspumpmaschine auch noch eine sogenannte Zubringerpumpe, die das für die Kesselspeisung und den Prefspumpenbetrieb erforderliche Wasser in die später näher zu beschreibenden Behälter im Accumulatorenthurm fördert. Die Lage der Prefspumpmaschinen in der Halle ist aus der Abb. 2 auf Bl. 40, die

Anordnung der Maschinen aus der Abb. 8 und 9 auf Bl. 39 und den hier folgenden Text-Abbildungen zu ersehen. Die beiden Kolben der Dampfmaschine haben 480 mm Durchmesser und 700 mm Hub; bei 35 Umdrehungen in der Minute und 15 v. H. Füllung leistet jede Maschine 150 ind. Pferdekräfte. Die Kolbenstangen gehen an beiden Enden durch die Cylinderdeckel durch. Von den dem Accumulatorenthurm abgewandten Theilen der Kolbenstangen wird ein besonders kräftig gehaltenes Schwungrad angetrieben, an das andere Ende jeder Kolbenstange sind je zwei, ebenso wie die Kolbenstange wagerecht liegende Prefspumpenkolben von 96 mm Durchmesser angeschlossen. Die beiden zu einer Kolbenstange der Dampfmaschine gehörigen Prefspumpen-cylinder liegen derartig hintereinander, dafs sie mit ihren Böden zusammenstoßen, also die Stopfbuchsen für den Durchgang der Kolben um etwas mehr als den doppelten Kolbenhub von einander entfernt sind. Infolge dieser Anordnung saugt der eine Kolben Wasser in den zugehörigen Cylinder ein, während der andere Kolben Druckwasser in die Leitungen bzw. in die Accumulatoren sendet. Die beiden, von der einen Kolbenstange der Dampfmaschine betriebenen zwei einfach wirkenden Prefspumpen stellen also zusammen genau so viel Druckwasser her, wie eine an ihrer Stelle angeordnete, doppelwirkende Prefspumpe leisten würde. Die vier einfach wirkenden Prefspumpen, die von jeder Zwillingsmaschine betrieben werden, liefern bei 35 Umdrehungen in der Minute und 85 v. H. Nutzleistung der Pumpen:

$$0,85 \cdot \frac{35}{60} \cdot 4 \cdot 0,96^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 7 = \text{rund } 10 \text{ Liter}$$

Druckwasser in der Secunde. 35 Umdrehungen in der Minute ist die Zahl, die beim gewöhnlichen Betriebe inne gehalten werden soll. Die Maschinen sind jedoch so ausgebildet, dafs sie auch die doppelte Anzahl Umdrehungen, ohne Schaden zu erleiden, machen können, insbesondere sind die Schwunräder so schwer gemacht, dafs auch bei 70 Umdrehungen noch eine ausreichende Gleichförmigkeit der Kolbenbewegung erzielt wird. Bei dem stärksten Druckwasserbetriebe sollen nur zwei Prefspumpmaschinen in Thätigkeit sein, während die dritte für Instandsetzungsarbeiten zur Verfügung steht. Die Leistungsfähigkeit der Centralmaschinenanlage beträgt also unter gewöhnlichen Verhältnissen 20 Liter Druckwasser in der Secunde, und damit können gleichzeitig entweder vier kleine oder drei grofse Maschinen der Schleusen in Betrieb gehalten werden, ohne dafs der Inhalt der Accumulatoren in Anspruch genommen wird; bei 70 Umdrehungen in der Minute kann die doppelte Druckwassermenge erzeugt werden.

Die Prefspumpen erhalten sowohl in Brunsbüttel wie in Holtenau das zu pressende Wasser aus Behältern, die in dem zur Aufstellung der Accumulatoren vorgesehenen Gebäude über den Accumulatoren angeordnet sind. Der Accumulatorenthurm steht, wie der Grundriß und der Querschnitt der Centralmaschinenanlage in Holtenau, (Abb. 1 und 2 auf Bl. 40) zeigt, im engsten Zusammenhang mit der Halle, in der die Prefspumpmaschinen aufgestellt sind, und ist so ausgebildet, dafs in drei getrennten Räumen je ein Accumulator untergebracht werden kann, während zunächst nur zwei Accumulatoren beschafft sind. In dem Raum über den Accumulatoren sind zwei Wasserbehälter von je 40 cbm nutzbarem Fassungsraum aufgestellt. Die Anordnung von zwei Behältern liefs sich durchführen, weil die beiden mittleren Querwände des Accumulatorenthurmes nur bis zur Unterkante der Behälter reichen, der Raum über den Accumulatoren also ein einheitliches Ganzes bildet. Zwei Behälter wurden gewählt, da dann die zeitweilig nothwendig werden den Reinigungen und etwaige Instandhaltungs- und Instand-

setzungsarbeiten an dem einen Behälter vorgenommen werden können, während der andere in Betrieb bleibt, und somit jede Störung des Prefspumpenbetriebes vermieden wird.

In Brunsbüttel fließt das in den Maschinen der Schleuse benutzte Druckwasser durch die Rücklaufleitung in die Behälter im Accumulatorenthurm zurück. Es war also hier nur dafür zu sorgen, daß die in den langen Rohrleitungen und den Maschinen der Schleuse infolge der unvermeidlichen Undichtigkeiten verloren gehenden Wassermengen, ferner die zum Lenzen der unter den Schleusen durchgehenden Tunnel und zum Lenzen und Lüften der Schleusenthorflügel verwandten Druckwassermengen ersetzt werden können, und daß endlich eine allmähliche Erneuerung des infolge der vielfachen Benutzung Fettbestandtheile, Fettsäuren usw. aufnehmenden Wassers möglich ist. Außerdem mußte das für die Speisung der Kessel erforderliche Wasser beschafft werden. Diese Wassermengen werden in Brunsbüttel der Wasserleitung entnommen, deren ebenfalls im Accumulatorenthurm untergebrachter Hochbehälter durch eine am Kudensee, dicht bei km 7 der Canalstrecke errichtete Pumpenanlage, die im letzten Abschnitt dieser Veröffentlichung näher erläutert werden soll, gefüllt werden.

In Holtenau ist keine Rücklaufleitung vorgesehen, weil hier die Gewinnung ausreichender und für die Zwecke der Kesselspeisung und des Prefspumpenbetriebes geeigneter Wassermengen nach den Voruntersuchungen keinerlei Schwierigkeiten zu machen schien. Es war in Aussicht genommen worden, daß der der Centralmaschinenanlage zunächst stehende, während der Gründungsarbeiten zur Absenkung des Grundwasserspiegels unter der Schleusenbaugrube benutzte Brunnen — vergl. Seite 106 der Abtheilung I dieser Denkschrift — den Wasserbedarf liefern sollte. Schon kurze Zeit nach der Inbetriebnahme der Maschinenanlagen stellte sich jedoch heraus, daß das Wasser dieses Brunnens, der früher reines Süßwasser gegeben hatte, stetig an Salzgehalt zunahm. Wahrscheinlich ist bei der Ausführung der Baggerungen in dem sehr nahe gelegenen Aufsenhafen die Sand- und Kies-schicht, bis zu der der Brunnen herabreicht, frei gebaggert worden und dadurch eine früher nicht vorhandene oder wenigstens nicht in dieser Nähe vorhandene Verbindung zwischen dem Brunnen und der Ostsee hergestellt worden. Der Brunnen mußte bereits nach kurzer Zeit als Entnahmestelle für das Betriebswasser der Centralmaschinenanlage aufgegeben werden, da infolge des Salzgehaltes des Wassers die Kessel und in noch höherem Grade die arbeitenden Eisen-theile sämtlicher Maschinen und der Accumulatoren angegriffen wurden. Die daraufhin angestellten Bohrungen ergaben in der Nähe der Centralmaschinenanlage Wasser, das nicht nur für den Betrieb der Kessel und der Prefspumpen, sondern auch als Trink- und Speisewasser geeignet war und nach den an den Bohrrohren angestellten Pumpversuchen auch in ausreichender Menge gewonnen werden konnte. Das erbohrte Wasser befand sich in einer Kiesschicht, die etwa 20 m unter dem gewöhnlichen Wasserstande der Kieler Föhrde, also annähernd in derselben Höhe lag wie die Schicht, in der der bisher benutzte Brunnen steht. Trotzdem bestand zwischen diesen beiden Kiesschichten keine Verbindung, wie sich augenscheinlich aus dem Umstande ergab, daß der Wasserspiegel in dem Brunnen ungefähr in gleicher Höhe mit dem Ostseespiegel lag und dessen Schwankungen folgte, während der Wasserspiegel in dem Bohrrohr rund 3 m höher stand. Da das Versuchsbohrrohr in 24 Stunden soviel Wasser ergab, wie bei dem bis dahin beobachteten schärfsten Pumpenbetriebe in einem halben Tage gebraucht worden war, und da ferner der Pumpenbetrieb stark wechselnde Anforderungen an Wasser stellt, so wurde ein Brunnen von 10 m lichtigem

Durchmesser hergestellt und die Leistungsfähigkeit des Brunnens durch Niedertreiben von sechs Rohren in die wasserführende Schicht verstärkt. Die Ausführung des Brunnens machte keinerlei Schwierigkeiten, da der Baugrund aus außerordentlich festem blauen Thon bestand, der unbedenklich bis zur Sohlentiefe lothrecht abgegraben werden konnte. Die Sohle des Brunnens liegt auf der Höhe +18,00, der  $1\frac{1}{2}$  Stein starke, aus hartgebrannten Ziegelsteinen und Cementmörtel vom Mischungsverhältniß 1:3 aufgemauerte Brunnenring ist ohne jede Zwischenlage auf den festen Thon aufgesetzt und bis zur Höhe +24,00 hinaufgeführt. Abgedeckt ist der Brunnen durch  $\frac{1}{2}$  Stein starke Kappengewölbe zwischen I-Trägern. Die Kappen sind übermauert und mit einer von der Brunnenmitte nach dem Umfang zu abfallenden Rollschicht aus den auch zum Schleusenbau verwandten schwedischen Verblendklinkern abgedeckt. Auf die Sohle des Brunnens ist eine 50 cm starke Kiesschüttung nur zu dem Zweck aufgebracht, um das Hineingelangen von aufgelösten Thontheilen in die Saugeleitung der Zubringerpumpen zu verhindern, eine Befestigung der Sohle erschien überflüssig und hat sich beim Betriebe des Brunnens auch als unnöthig erwiesen. Schon während der Herstellung des Brunnens traten Zweifel auf, ob die Vermehrung der Bohrrohre ausreichen würde, um die Leistungsfähigkeit der Anlage auf das erforderliche Maß zu bringen, und es wurde deshalb zur Sicherheit beschlossen, eines der neuen Rohre bis auf eine größere Tiefe hinabzutreiben. Bei dieser Arbeit stellte sich — wie bereits auf Seite 103 der Abtheilung I dieser Denkschrift erwähnt worden ist — heraus, daß die unter der bisher erbohrten wasserführenden Schicht lagernde Thonschicht mit ihrer Unterkante bis — 45,00 hinabreicht. Unter dem Thon fand sich brauchbares Wasser, das annähernd unter demselben Druck stand, wie das durch die kürzeren Rohre erbohrte, und die von den verschiedenen Rohren gelieferten Wassermengen genügten auch für die Kesselspeisung, den Prefspumpenbetrieb und die Wasserleitungsanlage. In letzterer Beziehung jedoch nur, solange die Anforderungen an diese auf die Bedürfnisse des Canalbetriebes beschränkt blieben. Als im Herbst 1895 von seiten der Kaiserlichen Marine, die unterdessen begonnen hatte, den Kohlenhafen nebst der Mole und den anliegenden Geländeflächen zu einem mit Druckwasserkränen ausgestatteten Kohlen-Lösch- und Ladeplatz auszubauen, die Abgabe größerer Wassermengen an die Kriegsschiffe gewünscht wurde, da erwies sich der Brunnen für die erweiterten Zwecke nicht mehr ergiebig genug. Es wurde nunmehr in etwa 100 m Entfernung vom Brunnen ein 13 cm im lichten weites Rohr niedergetrieben und mit diesem in der Höhe von rund — 42,00 eine wasserführende Schicht erreicht, die nicht nur nach der Menge, sondern auch nach der Beschaffenheit zweckentsprechendes Wasser ergab. Das Wasser stand in dieser Schicht noch unter etwas höherem Druck als in den früher erbohrten Schichten. Da die Leistung des Rohres naturgemäß desto größer wurde, je mehr der Wasserspiegel in ihm durch Pumpen abgesenkt wurde, mußte das Rohr mit dem Brunnen derartig in Verbindung gebracht werden, daß jede Absenkung des Brunnenwasserstandes in ihrer Wirkung auf das neue Bohrrohr übertragen wird. Zu dem Zweck ist die Verbindung zwischen dem Brunnen und dem Bohrrohr als Heberrohrleitung hergestellt worden. Diese 10 cm im lichten weite Rohrleitung beginnt im Brunnen 20 cm unter dem niedrigsten Wasserstande, der daselbst durch die Zubringerpumpen erzeugt werden kann, steigt bis zur Höhe +21,00 senkrecht im Brunnen auf, durchdringt dann die Brunnenwandung und führt mit leichter Ansteigung zu dem Bohrrohr, dieses in einer Höhe erreichend, die rund 1 m unter demjenigen Wasserstande liegt, der sich einstellt, wenn keine Wasserentnahme

aus dem Rohre stattfindet. Hier ist die Heberleitung an das Rohr angeschlossen, und dieses rund 0,50 m über dem Anschluß abgeschnitten und durch eine Kappe, auf der ein kleiner Lufthahn angebracht ist, verschlossen. Die Kappe liegt demnach tiefer als der Wasserstand, der in dem Bohrröhr eintritt, wenn dem Brunnen kein Wasser entnommen wird. Die unter der Kappe als dem höchsten Punkt der Heberleitung etwa sich ansammelnde Luft wird daher, wenn der Hahn geöffnet wird, durch das im Rohr aufsteigende Wasser verdrängt und durch den offenen Hahn abgeführt. Bisher hat die Heberleitung den an sie geknüpften Erwartungen voll entsprochen, und die Leistungsfähigkeit des Brunnens ist durch das neue Bohrröhr auf solche Höhe gebracht, daß sie den bisherigen Anforderungen voll genügt.

Aus dem Brunnen entnehmen die Zubringerpumpen der Centralmaschinenanlage das in die Behälter im Accumulatorenthurm zu fördernde Wasser mit Hilfe einer 300 mm im lichten weiten gußeisernen Rohrleitung, die im Brunnen mit einem Saugkorb und einem Fußventil ausgerüstet ist. Innerhalb des Rohrkellers unter der Halle für die Presspumpmaschinen ist die Leitung gleichlaufend mit den Längswänden der Halle und des Accumulatorenthurmes verlegt und entsendet nach jeder der drei Zubringerpumpen ein Zweigrohr; die Zubringerpumpen sind doppelt wirkend und derartig gebaut, daß sie zwei getrennte Sätze von Saug- und Druckventilen haben. In die Druckleitung ist ein Rückschlagventil eingebaut, das sich selbstthätig schließt, wenn die Pumpe außer Betrieb gesetzt wird. Die Druckleitungen der drei Zubringerpumpen schließen wieder an eine gemeinschaftliche Hauptleitung an, die wie alle übrigen Rohrleitungen im Rohrkeller verlegt ist. Die Hauptleitung ist in der einen Ecke des Accumulatorenthurms bis über die Oberkante der Wasserbehälter hoch geführt, verläuft dann ein wenig ansteigend an der dem Kesselhause zugekehrten Längswand des Accumulatorenhauses bis zur Mitte dieser Wand und biegt hier senkrecht zu ihrer bisherigen Richtung ab. Dieser letzte Theil der Leitung ist so lang, daß ihr Ende etwa auf der Hälfte der Breite der Behälter liegt. Das der Leitung entströmende Wasser fällt zunächst auf eine Tafel, die um eine wagerechte Achse derart drehbar ist, daß die gesamte Wassermenge entweder dem einen oder dem anderen Behälter oder beiden Behältern gleichzeitig zugeführt werden kann. Diese Vertheilungstafel ist mit einem Drahtsieb überspannt, durch welches das Wasser durchfließen muß, ehe es in die Behälter gelangt. Das Drahtsieb hält etwaige gröbere Verunreinigungen des Wassers zurück.

Die beiden Behälter sind im lichten je 6,5 m lang, 5,20 m breit und vom Boden bis zur Oberkante der Seitenwände 1,60 m hoch. Ihr nutzbarer Wassergehalt beträgt jedoch nur je rund 40 cbm, weil die Stützen für die Wasserentnahme über den Behälterboden etwa um 40 cm hervorragen und die Ueberlaufleitung das Ansteigen des Wasserspiegels bis zur Oberkante der Seitenwände nicht gestattet. Die Behälter sind, wie aus den Text-Abb. 252 bis 254 ersichtlich ist, aus schmiedeeisernen Blechen hergestellt und an den Wänden und im Boden mit Winkelisen ausgesteift. Sie liegen auf kräftigen I-Eisen auf, die von den beiden Giebelwänden und den beiden Querwänden des Accumulatorenthurmes getragen werden. In die Behälter sind eine Reihe von durchlochtem Platten lothrecht eingebaut, die eine Reinigung des Wassers von mechanischen Beimengungen herbeiführen sollen. Die Platte, die dem Wassereinflaß zunächst steht, hat die größten Löcher, je weiter die Platten von dem Einlaß entfernt sind, desto feiner ist die Durchlochung. Hinter

der letzten Platte sind die Entnahmestützen der Presspumpen-Saugleitungen in den Behälterboden eingebaut. Ebendasselbst befindet sich auch der Ueberlauf. Die Anordnung eines Ueberlaufs wurde nothwendig, weil die Wasserförderung der Zubringerpumpen um ein gewisses Maas größer bemessen werden mußte, als der Wasserverbrauch der Presspumpen. Diese verbrauchen, da ihnen das Wasser mit einer Geschwindigkeit zuströmt, die der Höhenlage des Behälterwasserspiegels über dem Cylinder-Innenen und der im Cylinder durch den Kolbenvorwärtsgang erzeugten Luftleere entspricht, bei jeder Umdrehung der Presspumpmaschine dieselbe Wassermenge, ganz gleichgültig, ob die Maschine in der Zeiteinheit die planmäßige Anzahl von Umdrehungen macht oder erheblich weniger. Dagegen haben die Zubringerpumpen die das von ihnen in die Behälter zu fördernde Wasser aus dem Brunnen ansaugen müssen, je nach der Zahl der Pumpenhübe in der Zeiteinheit eine merklich verschiedene Nutzleistung. Der Größstwerth der Wasserförderung wird erreicht, wenn die Pumpe die planmäßige Zahl der Hübe macht; sobald die Hubzahl kleiner wird, nimmt auch die Nutzleistung

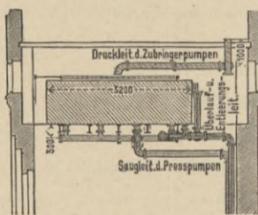


Abb. 252. Seitenansicht.

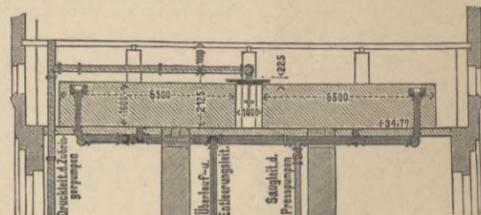


Abb. 253. Längsansicht.

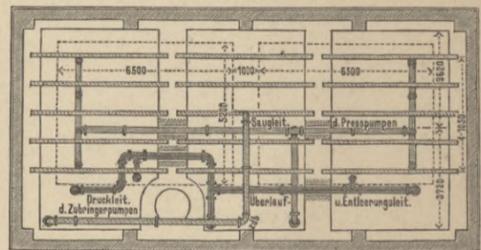


Abb. 254. Grundriß.

Abb. 252 bis 254. Wasserbehälter im Accumulatorenthurm in Holtenau.

ab. Nun sind die Presspumpmaschinen ganz außerordentlich selten längere Zeit in gleichmäßigem Betriebe, die Regel ist, daß sie einige Minuten laufen und dann längere oder kürzere Zeit stillstehen, je nach der Lebhaftigkeit des Schleusenbetriebes. Wären die Zubringerpumpen nun so bemessen worden, daß sie bei der planmäßigen Zahl von 35 Umdrehungen der Presspumpmaschine ebensoviel Wasser lieferten, wie die Presspumpen brauchen, dann würde ihre Förderung bei dem gewöhnlich stattfindenden Gange der Maschine den Bedarf der Presspumpen nicht decken, und deshalb mußten die Zubringerpumpen solche Abmessungen erhalten, daß sie auch bei sehr ungleichmäßigem und langsamem Betriebe genügend Wasser fördern. Damit ist aber auch gegeben, daß sie bei lebhafterem Presspumpenbetriebe mehr Wasser in die Behälter fördern als nöthig ist, und die über den Bedarf hinausgehende Wassermenge muß durch die Ueberläufe abgeführt werden. Es sei hier noch bemerkt, daß auch das Kesselspeisewasser aus den Behältern entnommen wird, und daß auch aus diesem Grunde für einen gewissen Ueberschuß des den Behältern zugeführten Wassers gesorgt werden muß. Die an den beiden Behältern angebrachten Ueberläufe laufen in Rohre aus, die dicht unter dem Fußboden des Behälterraumes hinlaufen und sich zu einem gemeinsamen Fallrohr vereinigen, das im Accumulatorenthurm niedergeführt ist und im Rohrkeller unter der Halle für die Presspumpmaschinen an einem Einfallschacht der bereits oben erwähnten Entwässer-

rungsanlage des Rohrkellers endigt. An die Ueberlaufrohre sind auch die Entleerungsrohre der Behälter angeschlossen.

Die Zubringerpumpen haben 16 cm Kolbendurchmesser und ebenso wie die Dampfmaschinen und die Prefspumpen 700 mm Hub. Die zu einer Prefspumpmaschine gehörige Zubringerpumpe liefert bei 35 Umdrehungen in der Minute rund 13 l Wasser in der Secunde, während die vier Prefspumpen nur etwas über 10 l Wasser in derselben Zeit verbrauchen. Auf die Ausbildung der Pumpen und ihrer Ventile soll hier nicht näher eingegangen werden, die Abb. 8 und 9 auf Bl. 39 zeigen die Lage der Zubringerpumpe zu den übrigen Theilen der Maschine. Erwähnt soll nur werden, daß die Kolbenstange der Pumpe einen Theil der oberen der beiden Stangen bildet, durch die die hin- und hergehende Bewegung des Kolbens der Dampfmaschine auf den hinteren Prefspumpenkolben übertragen wird.

Die Saugleitung der Prefspumpen beginnt bei den in den Boden der Wasserbehälter im Accumulatorenthurm eingebauten Entnahmestutzen. Den beiden Behältern entsprechend besteht sie zunächst aus zwei Rohrsträngen, die unter  $\Gamma$  Trägern, auf denen die Behälter aufruhend, liegen und sich in dieser Höhenlage in einem in eine Verbindungsleitung eingebauten  $\Upsilon$  Stück vereinigen. In der Nähe des  $\Upsilon$  Stücks ist in jede der beiden Zweigleitungen ein Absperrschieber eingebaut, der geschlossen werden muß, wenn einer der beiden Behälter behufs Reinigung oder aus sonstigen Gründen entleert werden soll, während der andere in Betrieb bleibt. Diese Absperrschieber sind in den Text-Abb. 252 bis 254 nicht mit dargestellt. Der an dem  $\Upsilon$  Stück abzweigende Rohrstrang ist in einer Ecke des Accumulatorenthurmes bis zur Sohle desselben senkrecht hinabgeführt und biegt dann in eine nahezu wagerechte Richtung um, die aber senkrecht zur Längsrichtung des Accumulatorenthurmes und der Halle für die Prefspumpmaschinen steht. In dieser Richtung verläuft der Rohrstrang nur auf eine kurze Strecke, um dann abermals rechtwinklig umzubiegen und nunmehr mit der Längsrichtung der Halle gleichzulaufen. Von diesem letzten Theil der Saugleitung zweigt bei jeder Prefspumpmaschine ein Strang ab, der an einen auf dem Fußboden des Rohrkellers aufgestellten Windkessel angeschlossen ist. Jeder der drei Windkessel kann durch einen Absperrschieber außer Verbindung mit der Saugleitung gebracht werden. Von dem Windkessel gehen den vier Prefspumpen entsprechend auch vier Zweigleitungen ab, von denen jede an den Boden eines an dem Prefspumpenkörper befestigten Ventilkörpers angeschlossen ist. Die aus den Abb. 8 und 9 auf Blatt 39 ersichtlichen Ventilkörper enthalten je ein unteres Saug- und ein oberes Druckventil. Zwischen den beiden Ventilen befindet sich die Verbindung mit dem Prefspumpencylinder, während die Druckleitung oberhalb des oberen Ventiles von dem Körper mit einem Rohrstutzen abzweigt. Diese Rohrstutzen endigen in Flanschen, und zwar sind sie derartig angeordnet, daß die Flanschen zweier, zu zwei hintereinander liegenden Prefspumpencylindern gehörigen Ventilkörper einander zugekehrt sind. Zwischen diese Flanschen ist ein hohler Stahlgufskörper eingebaut, der zugleich als Windkessel und zur Vereinigung der beiden Druckleitungen dient. Der Stahlgufskörper ist aus zwei Theilen hergestellt, die durch eine Verschraubung zu einem Ganzen verbunden sind. An den unteren Theil sind drei Rohrstutzen angegossen; zwei davon dienen zum Anschluß an die Rohrstutzen der Ventilkörper, der dritte, nach unten führende Stutzen aber für die den beiden hintereinander liegenden Prefspumpen gemeinsame, aus Flußeisen hergestellte Druckleitung. Die Stahlgufskörper mußten aus zwei Theilen hergestellt werden, weil sich bei den vorgeschriebenen Druckversuchen, bei denen die Gufskörper

einem inneren Druck von 150 Atmosphären ausgesetzt wurden, gezeigt hatte, daß eintheilige Gufskörper dem Probedruck nicht stand halten konnten. Bei den zweitheiligen Stahlgufskörpern sind Brüche während der Druckproben nicht vorgekommen, auch haben sie sich während des nunmehr drei und einhalbjährigen Betriebes durchaus bewährt, insbesondere sind Undichtigkeiten an den großen Verschraubungen bisher nicht beobachtet worden.

Zu je zwei hintereinander liegenden Prefspumpen gehört ein Stahlgufskörper, somit sind bei jeder Prefspumpmaschine zwei solche Körper und auch zwei an den nach unten führenden Rohrstutzen dieser Körper angeschlossene Druckrohrleitungen vorhanden. Diese beiden Leitungen führen nach dem Rohrkeller hinab und werden daselbst dicht über dem Fußboden in einem gußeisernen Formstück zu einer einheitlichen Leitung von 70 mm lichtigem Durchmesser vereinigt. Den drei Prefspumpmaschinen entsprechend sind drei solcher 70 mm weiten Leitungen vorhanden. In jede Leitung ist dicht an dem Formstück ein Rückschlagventil eingebaut, das eine außer Betrieb gesetzte, also von Druckwasser freie Prefspumpmaschine von der Druckrohrleitung absperrt. Die 70 mm weiten Leitungen sind an den einen oder den anderen von zwei Rohrsträngen angeschlossen, die im Keller unter der Halle für die Prefspumpmaschine gleichlaufend mit den Längswänden des Accumulatorenthurmes verlegt und an dem einen Ende innerhalb des Rohrkellers mit einander verbunden sind, während ihre anderen Enden bis zu den Druckwasserrohrleitungen der Schleusen weiter geführt und an sie angeschlossen sind. Infolge dieser Anordnung bilden die Druckwasserrohrleitungen sowohl in Brunsbüttel wie in Holtenau einen vollständig geschlossenen Ring, wie bereits bei der Erörterung der Rohrleitungen in den Schleusen erwähnt worden ist.

Von jeder der beiden Druckwasserleitungen zweigt rechtwinklig ein Rohr ab, das an einen der beiden Accumulatoren angeschlossen ist. Die Accumulatoren bestehen je aus drei Theilen, dem Cylinder, dem Tauchkolben und der Belastung des Kolbens. Der aus mehreren, sorgfältig mit einander verschraubten und gegen einander abgedichteten Gufsstahltheilen zusammengesetzte Cylinder steht mit einer durch Stege versteiften Fußplatte auf einer  $2 \times 2$  m großen Granitplatte, die von einem kräftigen Grundmauerkörper getragen wird, und ist mit diesem durch lange und starke Maueranker verbunden. Die Fußplatte ist etwas oberhalb des unteren Endes des Cylinders angebracht, dieser ragt daher noch in die Granitplatte hinein, die zu diesem Zweck ein cylinderförmiges, durch die ganze Höhe der Platte durchgehendes Loch hat. Der Cylinder ist genau in der Mitte zwischen einer Giebel- und einer Querwand bzw. zwei Querwänden des Accumulatorenthurmes aufgestellt. Innerhalb des Cylinders bewegt sich der hohle, oben und unten geschlossene, aus Gußeisen hergestellte und in seiner ganzen Länge sorgfältig abgedrehte, runde Kolben. Derselbe hat 400 mm äußeren Durchmesser und eine solche Länge, daß sein Hub 4,50 m betragen kann. In den Text-Abb. 255 bis 259 ist der Cylinder und der Kolben dargestellt. Die von dem Kolben im Inneren des Cylinders bei seiner niedrigsten Stellung verdrängte Wassermenge beträgt gegenüber seiner Wasserverdrängung in der obersten Stellung um 565 Liter mehr, beide Accumulatoren haben also zusammen 1130 Liter nutzbaren Inhalt, und das entspricht der Leistung einer Prefspumpmaschine, die ungefähr während zweier Minuten in der Minute 35 Umdrehungen macht, oder dem Wasserbedarf einer kleinen Druckwassermaschine der Schleuse, wenn diese rund vier Minuten lang je 60 Umdrehungen in der Minute macht.

Der nutzbare Inhalt der beiden Accumulatoren genügt also vollkommen, um die vier Ebbe- oder Fluththorflügel

am Aufsens- oder Binnenhaupt einer Schleuse zu öffnen oder zu schließen, solange je die beiden zusammengehörigen Thorflügel mit hintereinander geschalteten Druckwassermaschinen bewegt werden können.

Der Kolben wird nur am oberen Ende des Cylinders in der daselbst angebrachten, aus der Text-Abb. 259 ersichtlichen Stopfbuchse geführt, im Cylinder-Inneren bewegt er

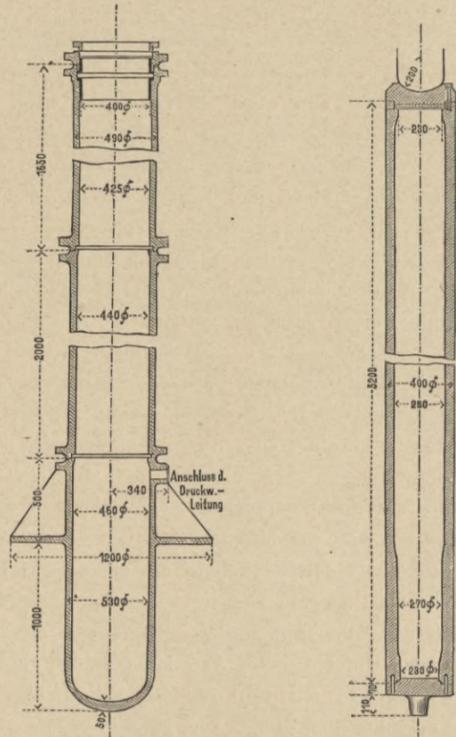


Abb. 255. Lothrechter Schnitt durch den Cylinder der Accumulatoren. Abb. 257. Lothrechter Schnitt durch den Kolben der Accumulatoren.

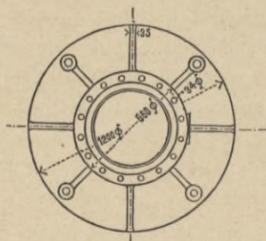


Abb. 256. Fußplatte des Cylinders.

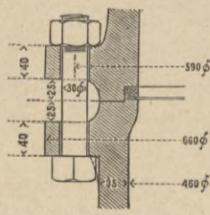


Abb. 258. Flanschenverbindung der Cylindertheile.

sich vollständig frei. Die Dichtung in der Stopfbuchse erfolgt durch eine zwischen Metallringen liegende Leder- manschette. Der auf den Kopf des

Kolbens aufgeschraubte Stahlkörper hat in seiner oberen Fläche eine Vertiefung in Form eines Kugelabschnitts, und in diese Vertiefung ist ein an seiner Unterfläche entsprechend geformtes Gussstück eingelegt, das zwei mit den Längswänden des Accumulatoren- thurmes gleichlaufende U-Eisen mit senkrecht stehenden Stegen trägt. An den Enden dieser U-Eisen sind aus Gussstahl hergestellte Führungsstücke angebracht, die sich je gegen eine an der einen Giebelwand bzw. den Quer- wänden des Accumulatorenthurmes an- gebrachte und mit diesen Wänden sorgfältig verbundene, senkrecht stehende Gleitschiene anlegen, sobald der Kolben von der genau senkrechten Stellung abweicht. An den U-Eisen ist der Beschwerungskasten des Accumulatorenkol- bens mit Hilfe von zwei Rundeisenstangen aufgehängt.

Abb. 259. Stopfbuchse des Cylinders.

Der auf den Kopf des Kolbens aufgeschraubte Stahlkörper hat in seiner oberen Fläche eine Vertiefung in Form eines Kugelabschnitts, und in diese Vertiefung ist ein an seiner Unterfläche entsprechend geformtes Gussstück eingelegt, das zwei mit den Längswänden des Accumulatoren- thurmes gleichlaufende U-Eisen mit senkrecht stehenden Stegen trägt. An den Enden dieser U-Eisen sind aus Gussstahl hergestellte Führungsstücke angebracht, die sich je gegen eine an der einen Giebelwand bzw. den Quer- wänden des Accumulatorenthurmes an- gebrachte und mit diesen Wänden sorgfältig verbundene, senkrecht stehende Gleitschiene anlegen, sobald der Kolben von der genau senkrechten Stellung abweicht. An den U-Eisen ist der Beschwerungskasten des Accumulatorenkol- bens mit Hilfe von zwei Rundeisenstangen aufgehängt.

Dieser im übrigen cylindrische Kasten hat einen ringförmigen Grundriss, der Boden und die Wände bestehen aus Blechplatten, der Innenraum ist mit Kies und Steinen gefüllt. Unter dem Boden des Kastens liegen zunächst Träger, die mit den Längswänden des Accumulatorenthurmes gleichlaufen, darunter senkrecht dazu gestreckte Träger. Diese letzteren sind durch die beiden Rundeisenstangen an den auf dem Kolbenkopf gelagerten Trägern aufgehängt. Wenn die Prefs-pumpen außer Betrieb sind, dann setzt sich der Beschwerungskasten mit den unter seinem Boden liegenden Trägern auf Holzbalken auf, die auf dem Grundmauerwerke der Accumulatoren verlegt sind. Die Holzbalken drücken sich dabei ein wenig zusammen, und durch diese Nachgiebigkeit des Holzes wird etwaigen harten Stößen beim schnellen Sinken der Accumulatorenkolben vorgebeugt.

Das Gewicht der Belastungskästen einschließlich ihres Inhalts und ihres Tragwerks ist mit dem Gewicht des Kolbens zusammen so groß bemessen, daß in den, in dem mittleren Raum des Accumulatorenthurmes stehenden Accumulator Druckwasser von 56 Atmosphären Pressung hineingepumpt werden muß, wenn der Kolben gehoben werden, also eine Aufspeicherung von Druckwasser in dem Accumulator stattfinden soll. Der zweite Accumulator ist aus einem später zu erörternden Grunde etwas weniger belastet, er wird sich deshalb auch bei einer etwas geringeren Pressung heben und seine höchste Stellung bereits erreicht haben, ehe der erste Kolben beginnt, sich auch seinerseits zu heben. Wenn der leichter belastete Kolben seine höchste planmäßige Stellung erhalten hat, also um 4,50 m gehoben ist, dann stößt er mit den Trägern, an denen der Beschwerungskasten aufgehängt ist, gegen zwei Buffer, die an der Unterfläche eines aus zwei I-Eisen gebildeten, in die eine Giebel- bzw. die eine Querwand des Thurmes eingemauerten Balkens angebracht sind, und wird durch die Buffer gehindert, sich noch weiter aufwärts zu bewegen. Bei dem schwerer belasteten Kolben ist eine solche Maßnahme nicht getroffen, und es mußte deshalb auf andere Weise verhindert werden, daß nicht etwa der Kolben durch das Druckwasser ganz aus dem Cylinder herausgehoben wird. Diesem Zweck dienen zwei Maßnahmen. Erstens ist nämlich eine Vorrichtung vorgesehen, die ein selbstthätiges Abstellen der das Druckwasser erzeugenden Prefs-pumpmaschine bewirkt, sobald der Accumulatorenkolben die höchste zulässige Stellung erreicht, und außerdem wird im Fall des Versagens dieser Vorrichtung ein Ventil geöffnet, das in die zum Accumulator führende Leitung dicht an diesem eingebaut ist und ebensoviel Druckwasser abfließen läßt, als die unbeabsichtigter Weise in Gang gebliebene Prefs-pumpmaschine erzeugt. Das Ventil ist in ganz ähnlicher Weise ausgebildet wie die Sicherheitsventile mit Gewichtsbelastung an Dampfkesseln. An dem langen Arm des das Belastungsgewicht tragenden Hebels ist eine Rundeisenstange angebracht, die sich mit dem weitaus größten Theil ihrer Länge innerhalb eines am Beschwerungskasten des Accumulators befestigten Gasrohres befindet. An dem oberen Ende ist an die Rundeisenstange eine Nase angeschweißt, die beim Heben des Accumulatorenkolbens in einem in dem Gasrohr vorgesehenen Schlitz schleift. Dieser hat nur solche Länge, daß sich der Kolben um 4,50 m heben kann; wird dieses Maß überschritten, dann wird die Rundeisenstange vermittelst der Nase angehoben und damit auch das Abspritzventil geöffnet. Durch das Ventil spritzt so lange Wasser ab, bis die Druckwassermaschine still gesetzt wird oder auf den Schleusen ein Druckwasserverbrauch eintritt, der mindestens gleich der Leistung der in Betrieb befindlichen Prefs-pumpen ist. Das Abspritzen des Druckwassers ist mit solchem Geräusch verbunden, daß die in der Central-anlage beschäftigten Leute es nicht überhören können und,

durch das Geräusch aufmerksam gemacht, die Maschine durch Schließen des Dampfentlastventiles außer Betrieb setzen.

Das Abstellen der Prefspumpmaschinen durch die Accumulatoren und ebenso das Wiedereingangssetzen derselben erfolgt mit Hilfe eines aus Stangen, Kniehebeln und Wellen zusammengesetzten Gestänges, das bei beiden zu einer Prefspumpmaschine gehörigen Dampfzylindern, deren Dampf-Zu- und -Ableitung durch eine Ridersche Expansionschieber-Steuerung geregelt wird, gleichzeitig auf den oberen, den Expansionschieber, einwirkt. Ist der Accumulator in seiner höchsten Stellung angelangt, dann verschiebt das Gestänge diesen Schieber auf dem Grundschieber derartig, daß die Schlitzlöcher in dem Grundschieber von dem Expansions- oder Deckenschieber vollständig geschlossen werden, sodaß also kein frischer Dampf in den Cylinder hineingelangen kann und somit die Prefspumpmaschine zum Stillstand kommen muß, sobald die in den bewegten Theilen der Maschine aufgespeicherte lebendige Kraft durch die Pumpenarbeit aufgezehrt ist, und das ist bereits bei einem verhältnißmäßig kleinen Wege der Pumpenkolben der Fall. Der Grundschieber und der Deckenschieber werden durch Excenter, die auf der das Schwungrad tragenden Kurbelwelle angebracht sind, bewegt. Die Excenterstange des Deckenschiebers ist nun aus zwei Theilen derartig hergestellt, daß der im Schieberkasten geführte, zum Deckenschieber gehörige Theil die hin- und hergehende Bewegung des anderen Theiles mitmachen muß, außerdem aber auch unabhängig davon um seine Längsachse gedreht werden kann. Die Berührungsflächen des Grundschiebers sind eben, auf der Rückenfläche des Expansionschiebers sind zwei kleine Zahnstangen angebracht, in die zwei, auf der zugehörigen Schieberstange befestigte Zahnradchen eingreifen. Wird die Schieberstange gedreht, dann verschiebt sich der Expansionschieber lothrecht auf dem Grundschieber. Die Drehung der Deckenschieberstange wird nun von den Accumulatoren aus bewirkt, und zwar sind die zugehörigen Gestänge so ausgebildet, daß jeder der beiden Accumulatoren mit jeder der drei Prefspumpmaschinen in Verbindung gebracht werden kann.

Das Abstellen der Prefspumpmaschinen erfolgt dadurch, daß eine an dem Beschwerungskasten des Accumulators angebrachte Rolle unter den einen Arm eines an dem Mauerwerk des Accumulatorenthurmes drehbar angebrachten Kniehebels untergreift und diesen Arm hebt, sobald der Kolben seine höchste zulässige Stellung erreicht. Dadurch wird das Gestänge derartig bewegt, daß die die Deckenschieber bewegenden Excenterstangen gedreht und damit die Schlitzlöcher in den Grundschiebern geschlossen werden. Sobald nun der Accumulatorkolben infolge eines Verbrauches von Druckwasser sinkt, muß auch der durch die Rolle gehobene Arm des an dem Mauerwerk des Thurmes angebrachten Kniehebels sich wieder senken, damit müssen die Schlitzlöcher des Grundschiebers geöffnet werden und die Prefspumpmaschine wieder in Gang kommen. Das findet auch thatsächlich bei der Maschine, die von dem leichter belasteten Kolben aus abgestellt wird, statt; bei der von dem schwerer belasteten Accumulator abhängigen Maschine jedoch nicht, weil in den zugehörigen Gestängezug ein Glied eingebaut ist, das den Kniehebel am Niedersinken hindert. Dieses Glied wird erst ausgelöst, wenn der Accumulatorkolben sich seiner untersten Stellung nähert, und dann erst kommt die mit dem schwerer belasteten Accumulator verbundene Maschine in Betrieb. Diese Anordnung hat den Zweck, das ständige Ab- und Anstellen dieser Maschine, das bei kleineren Entnahmen von Druckwasser eintreten würde, zu verhüten. Wenn z. B. nur einer der in die Schleusenthore eingebauten Wasserheber in Betrieb ist, dann ist der Verbrauch an Druckwasser nur

sehr gering. Stellte nun der schwerer belastete Accumulator die zugehörige Prefspumpmaschine sogleich wieder an, wenn er aus seiner höchsten Stellung etwas herabgesunken ist, dann hätten die Prefspumpen nur den kleinen Raum im Accumulatorcylinder, der dem Niedergehen des Kolbens entspricht, mit Druckwasser zu füllen und außerdem die während der Zeit ihres Ganges von dem Wasserheber des Thorflügels verbrauchte Druckwassermenge zu ersetzen. Zur Erzeugung dieser geringfügigen Menge würde die Prefspumpmaschine nur einige Secunden zu laufen haben, und dieses Spiel würde sich nach einigen Secunden der Ruhe immer von neuem wiederholen. Infolge der getroffenen Einrichtung sind die Pausen, die zwischen dem Eingangssein der Prefspumpmaschine liegen, und ebenso die Betriebsdauer sehr bedeutend verlängert worden, und dadurch wird nicht nur eine erheblich bessere Ausnutzung des den Dampfzylindern zugeführten Dampfes, sondern auch eine wesentliche Schonung der Maschine erreicht. Bei dem leichter belasteten Accumulator war diese Anordnung nicht nöthig, weil dieser nur in den verhältnißmäßig seltenen Fällen zum Sinken kommt, wenn eine so starke Entnahme von Druckwasser eintritt, daß die mit dem schweren Accumulator gekuppelte Prefspumpmaschine den Verbrauch nicht zu decken imstande ist. In solchem Falle ist es aber dringend erwünscht, daß die von dem leichter belasteten Kolben beeinflusste Maschine möglichst bald in Betrieb kommt und somit der ganze Inhalt des leichteren Accumulators als Vorrath für besonders starken Druckwasserbrauch zur Verfügung bleibt.

Es ist oben mehrfach gesagt worden, daß die Prefspumpmaschinen von den Accumulatoren aus durch Verschiebung des Deckenschiebers der Ridersteuerung an- und abgestellt werden. Diese Angabe ist für das Abstellen der Maschinen in vollem Umfange, für das Anstellen jedoch nur mit Einschränkung richtig. Die Zwillingmaschinen arbeiten mit hoher Expansion, und deshalb ist der Dampfzutritt zu den Cylindern auf dem größten Theil des Weges der Kolben durch die Schieber abgesperrt. Ist nun die durch den Accumulator abgestellte Maschine in solcher Stellung stehen geblieben, daß der Dampfzutritt zu den Cylindern abgesperrt ist, so kann an diesem Zustand auch durch die vom Accumulator veranlafte Drehung des Deckenschiebers der Steuerung nichts geändert werden, und die Maschine muß stehen bleiben, trotzdem sie vom Accumulator aus angestellt ist. Sie kann nur in Gang kommen, wenn auf andere Weise dem Dampf ein Zutritt zu dem jeweilig hinter dem Dampfkolben befindlichen Theile des Cylinder-Inneren gewährt wird. Zu diesem Zweck ist der Deckenschieber mit einer 3 mm im Lichten weiten Durchbohrung versehen, und der Grundschieber hat zwei ebenso weite Durchbohrungen erhalten, die je nach dem einen der beiden Dampfcanäle führen. Ist der Deckenschieber durch das Accumulatorgestänge gehoben, dann sind die Durchbohrungen gegen einander verschoben; sobald aber der Deckenschieber durch den niedergehenden Accumulator gesenkt wird, dann findet der Dampf bei jeder Stellung, die der Grund- und der Deckenschieber gegen einander haben können, durch die Durchbohrungen einen Weg in den Dampfzylinder und zwar in den Theil desselben, der, nach der Bewegungsrichtung des Kolbens gerechnet, jeweilig hinter dem Kolben liegt. Beim Anstellen einer Maschine durch einen der beiden Accumulatoren wird also infolge der Senkung der Deckenschieber der Maschinensteuerung zunächst ein kleiner Canal geöffnet, durch den Dampf in den Cylinder gelangt, und dieser Dampf bringt die Kolben in langsame Bewegung. Im weiteren Verfolg dieser Bewegung verschieben sich die Decken- und die

Grundschieber so gegen einander, daß die Dampfeinlaßcanäle geöffnet werden, und nunmehr erst kommt die Maschine in vollen Gang. Durch die Durchbohrungen der Schieber strömt auch während des Ganges der Maschinen Dampf in die Cylinder, und zwar auf der ganzen Länge des Kolbenhubes. Dadurch wird aber die Wirkung der Expansion abgeschwächt und damit ein größerer Dampfverbrauch herbeigeführt. Um diesem Uebelstande abzuwehren, ist noch für jeden Dampfcylinder ein kleiner Hilfsschieber vorgesehen, der die hin- und hergehende Bewegung des Deckenschiebers mitmacht, außerdem aber auf diesem in senkrechter Richtung verschoben werden kann. Diese Verschiebung wird in derselben Weise herbeigeführt wie die oben erläuterte senkrechte Verschiebung des Deckenschiebers auf dem Grundschieber, sie erfolgt aber mit Hilfe eines Gestänges von dem Regulator der Dampfmaschine, nicht vom Accumulator, aus. Sie tritt ein, wenn die Maschine mehr als 17 Umdrehungen in der Minute macht, und führt eine Ueberdeckung der Durchbohrung des

Schleusen eine bestimmte Druckwassermenge verbraucht wird und dementsprechend die Prefspumpmaschinen eine gewisse Anzahl von Umdrehungen in der Minute machen. Ist die Zahl der Umdrehungen der Prefspumpmaschinen klein, dann läßt man dieselben vorteilhafter mit Auspuff arbeiten, weil der Dampfverbrauch der Luftsaugmaschinen größer ist als das Mehr an Dampf, das die mit Auspuff arbeitende Prefspumpmaschine gegenüber der mit Condensation arbeitenden verbraucht. Für die Maschinen in Brunsbüttel und Holtenau hat sich ergeben, daß eine Prefspumpmaschine durchschnittlich in der Minute etwa 20 Umdrehungen machen muß, wenn die Inbetriebnahme einer Saugmaschine vorteilhaft sein soll. Macht die Prefspumpmaschine durchschnittlich weniger Umdrehungen in der Minute, dann muß in Rücksicht auf die Kostenersparnis mit Auspuff gearbeitet werden. Dementsprechend sind auch die Abdampfleitungen der Prefspumpmaschinen derartig ausgebildet, daß nur das Öffnen und Schließen je eines Ventils notwendig ist, wenn von

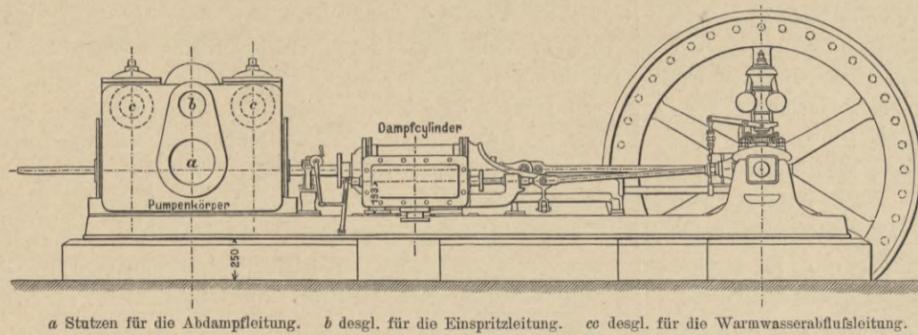


Abb. 260. Längensicht.

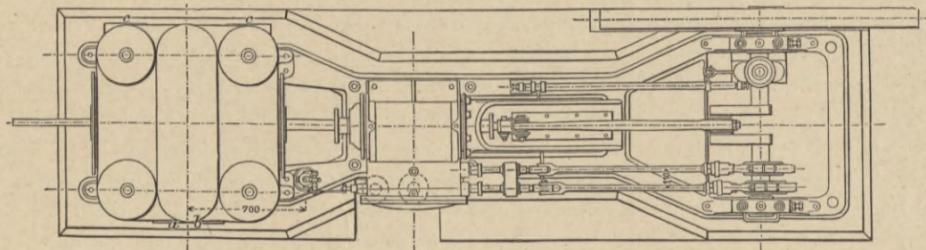


Abb. 261. Grundriss.

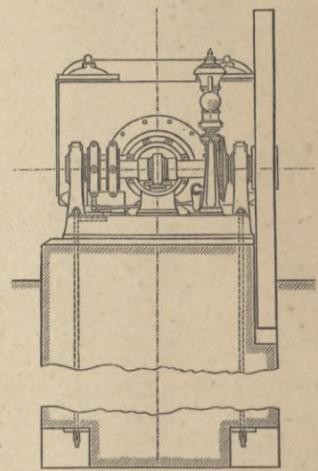


Abb. 260 bis 262. Luftsaugmaschine.

Deckenschiebers herbei, sodafs nunmehr nur noch Dampf durch die Schiebercanäle in die Cylinder gelangen kann. Von dem Regulator aus wird auch eine Drosselklappe, die in die Dampfzuleitung der Maschine eingebaut ist, bewegt. Die Cylinderwände werden durch frischen Dampf geheizt, um der Bildung von Niederschlagswasser, die durch den wechselnden Betrieb der Maschinen sehr begünstigt wird, entgegenzuwirken. Auf die Einzelheiten der Prefspumpmaschinen soll hier nicht näher eingegangen werden; die vorstehenden Mittheilungen beschränken sich darauf, die Wirkungsweise der Maschinen und das Zusammenarbeiten der Accumulatoren und der Maschinen eingehend zu schildern.

Die Luftsaugmaschinen haben den Zweck, den Abdampf der Prefspumpmaschinen zu condensiren. In jeder Centralanlage sind zwei solcher Maschinen vorhanden, von denen jede allein imstande ist, für zwei in vollem Betriebe befindliche Prefspumpmaschinen und außerdem für eine elektrische Maschine von 80 Pferdekraften Nutzleistung die Luftleere zu erzeugen. Es ist also auch möglich, den Betrieb planmäfsig aufrecht zu erhalten, wenn eine der beiden Luftsaugmaschinen gebrauchsunfähig werden sollte. Da die Saugmaschinen zu ihrem Betriebe eine gewisse Menge Dampf brauchen und diese Dampfmenge unabhängig von der Umdrehungszahl der Prefspumpmaschinen stets dieselbe Gröfse behält, so ergibt sich eine Ersparnis durch die Inbetriebnahme der Luftsaugmaschinen nur dann, wenn in den

der einen Betriebsweise zur anderen übergegangen werden soll. Die Anordnung der Luftsaugmaschinen ist aus den Text-Abb. 260 bis 262 zu ersehen, ihre Lage in den Gebäuden der Centralmaschinenanlagen kann aus der Abb. 2 auf Bl. 40 entnommen werden. Der Dampfcylinder hat 260 mm Durchmesser, der Kolbenhub ist 470 mm lang, die planmäfsige Umdrehungszahl beträgt 65 in der Minute. Die Condensation der Abdämpfe der Prefspumpmaschinen erfolgt durch Einspritzen von kaltem Wasser. Das kalte Wasser wird durch eine Rohrleitung in Brunsbüttel aus dem Binnenhafen, in Holtenau aus dem Außenhafen entnommen, ebendahin führt auch die Warmwasserableitung. In Holtenau kann bei besonders niedrigen Ostseewasserständen die Hubhöhe der Kaltwasserpumpe zu groß werden, es ist daher in die Saugleitung derselben eine Kreiselpumpe eingebaut, die von einer an der westlichen Giebelwand der Maschinenhalle gelagerten Triebwelle mittels eines Riemenvorlegees bewegt werden kann. In Brunsbüttel war die Anordnung einer solchen Pumpe nicht nöthig, weil dort der Höhenunterschied zwischen dem Wasserspiegel des Binnenhafens und dem Inneren des Pumpencylinders das zulässige Mafs nicht übersteigen kann. Die Triebwelle ist jedoch auch dort vorgesehen, weil nämlich bei beiden Schleusen dafür gesorgt ist, daß in die Maschinenkammern und die Verbindungsgänge der Schleusen sowie in die unter den Schleusen hindurchführenden Tunnel frische Luft gedrückt werden kann, wenn

sich dieses als nothwendig erweisen sollte. Zu dem Zweck ist in dem Rohrkeller unter der Halle für die Prefspumpmaschinen ein Ventilator aufgestellt, der Luft aus dem Rohrkeller ansaugt und sie durch den Verbindungs canal zwischen den Schleusen und den Centralmaschinenanlagen nach den Schleusen drückt. Der Verbindungs canal ist selbstverständlich dementsprechend gegen den Rohrkeller abgeschlossen, und zwar ist dieses durch dichte Holzwände, in denen die nothwendigen Thüren vorgesehen sind, geschehen. Die Maschinenkammern der Schleusen können sowohl nach außen zu, wie von den Gängen durch Thüren abgeschlossen werden, die so vertheilt sind, daß der frische Luftstrom in jeden einzelnen Raum der Schleusen, in dem sich Theile der Bewegungsvorrichtungen oder dazu gehörige Rohrleitungen befinden, geleitet werden kann. Diese Mafsnahmen haben sich als übermäßig vorsichtig erwiesen, bisher sind die Ventilatoren nur bei der Abnahme in Betrieb gesetzt worden. Die Luft in den Maschinenkammern, den Verbindungsgängen und den Tunneln ist stets so gut gewesen, daß von jeder Lüftung Abstand genommen werden konnte. Die Ventilatoren fördern in der Minute 400 cbm Luft, sie werden durch ein Riemen vorgelege von der oben erwähnten Triebwelle aus bewegt. Die Triebwelle selbst wird ebenfalls durch ein Riemen vorgelege und zwar von der Luftsaugmaschine, deren Schwungrad als Riemenscheibe benutzt wird, in Betrieb gesetzt.

Die Gebäude der Centralmaschinenanlagen sind durchweg massiv in Ziegelrohbau aus Vollverblendern unter sparsamer Verwendung von Form- und Glasursteinen ausgeführt. Die Abb. 3 auf Blatt 40 zeigt die der Schleuse zugekehrte Ansicht der Gebäudegruppe in Holtenau, in ähnlicher Weise sind die übrigen Ansichten der Gebäude ausgebildet. In Brunsbüttel mußten die Gebäude und das Grundmauerwerk der Maschinen auf einen Pfahlrost gesetzt werden, in Holtenau war der Baugrund so gut, daß jede künstliche Gründung überflüssig war.

Die Dächer sind durchweg mit Schiefer auf Schalung eingedeckt. Der Fußboden besteht im Kesselhause, in den Verbindungsgängen, im Accumulatorenthurm und in den Rohrkellern unter den beiden Maschinenhallen aus Klinkerrollschichten auf 10 cm starker Sandunterlage, die Decken der Rohrkeller sind aus Kappengewölben zwischen eisernen Trägern, die sich theils auf das Grundmauerwerk der Maschinen, theils auf die Umfassungswände der Hallen stützen, gebildet. Die Kappen sind übermauert und tragen in der Halle für die Druckwassermaschine einen Terrazzobelag, in der Halle für die elektrischen Maschinen einen aus gelben Fliesen mit rothen Einlagen hergestellten Fußbodenbelag. Dieser letztere Fußboden hat sich besser bewährt, als der Terrazzobelag; er sieht zunächst freundlicher aus, und dann läßt er sich leichter sauber halten, während sich im Terrazzobelag im Laufe der Zeit eine große Anzahl mehr oder minder feiner Risse gebildet haben. In den Rohrkellern haben die Wände und das Grundmauerwerk der Maschinen einen Rappputz, der mit Kalkmilch geschlemmt ist, erhalten, im Kesselhaus, in den Verbindungsgängen und im Accumulatorenthurm sind sämtliche Wände glatt geputzt und mit Oelfarbe gestrichen. Auf die Ausstattung der Maschinenhallen wurden größere Mittel verwandt, hier sind die Wände bis etwa 2 m über dem Fußboden mit einer Fliesenbekleidung versehen und darüber geputzt und mit heller Oelfarbe gestrichen. Erhellung werden die Hallen durch eine größere Anzahl von Fensteröffnungen und durch Oberlichte auf den Dächern. Das Oberlicht auf der Halle für die Prefspumpmaschinen erstreckt sich über etwa ein Drittel der Dachfläche, dagegen konnte das Oberlicht auf der Halle für die elektrischen Maschinen erheblich kleiner gehalten werden, weil durch

die Fenster mehr Licht in die Halle gelangt. Zur nächtlichen Beleuchtung sind im Kesselhause und den beiden Maschinenhallen je zwei Bogenlampen aufgehängt, die übrigen Räume einschl. der Rohrkeller und des Verbindungs canales sind reichlich mit Glühlampen ausgestattet, die jedoch nur theilweise ständig brennen. Der größere Theil der Glühlampen wird nur je nach dem Bedarf eingeschaltet.

Der Verbindungsbau zwischen den beiden Maschinenhallen ist ebenso unterkellert wie die Hallen, die Sohle dieses Raumes liegt jedoch tiefer, nämlich in gleicher Höhe mit der Sohle der in den Fußböden der Maschinenkammern der Schleusen ausgesparten Rohr canäle, und von diesem Raum aus geht auch der Verbindungs canal von der Centralmaschinenanlage nach der Schleuse.

Die Innenräume der Centralmaschinenanlage machen durchweg einen freundlichen, hellen Eindruck, besonders aber zeichnen sich die beiden Maschinenhallen in dieser Beziehung aus. Hierauf wurde sowohl beim Entwurf wie bei der Ausführung der Gebäude der Centralmaschinenanlagen besonderer Werth gelegt. In den Hallen ist jedes Stäubchen, das auf den Maschinentheilen lagert, jede Verunreinigung der Maschinen und jeder Beginn einer Rostbildung deutlich zu sehen, und die allgemeine Sauberkeit, die in den Hallen ohne große Mühewaltung erhalten werden kann und erhalten wird, veranlaßt und zwingt gewissermaßen die Bedienungsmannschaften der Maschinen dazu, auch diese aufs sorgfältigste zu unterhalten. Damit geht aber ein sparsamer Verbrauch an Putz- und Schmiermitteln Hand in Hand, die Widerstände in dem Triebwerk der Maschinen werden auf das erreichbare Mindestmaß herabgedrückt, und die Lebensdauer der Maschinen wird auf das Höchstmaß gesteigert. Die dadurch beim Betriebe der Centralmaschinenanlagen erzielten Ersparnisse sind allein schon so groß, daß sie die Mehrausgaben bei der Herstellung der Hallen, die übrigens im Vergleich zu den Gesamtkosten der Anlagen nur geringfügig sind, reichlich einbringen. Darüber hinaus macht sich aber die Schulung, die die Maschinisten, Maschinenwärter und Putzer in den Maschinenhallen der Centralanlage erhalten, in günstigster Weise bei der Unterhaltung und dem Betriebe der in den Maschinenkammern der Schleusen aufgestellten Maschinen und Triebwerke geltend, und das ist um so wichtiger, als sich diese Maschinen in niedrigen, stets mit feuchter Luft angefüllten, künstlich erleuchteten Räumen befinden, also nur bei besonders sorgfältiger Behandlung in gutem Zustande zu erhalten sind.

##### 5. Die Aufstellung der Entwürfe, die Ausführung und die Kosten der Bewegungsvorrichtungen.

Der Entwurf für die Bewegungsvorrichtungen der Schleusen mußte in seinen Grundzügen so zeitig festgestellt werden, daß bei der Ausarbeitung der Ausführungszeichnungen für das Mauerwerk der Schleusen die der Bewegungsvorrichtungen wegen erforderlichen Einrichtungen berücksichtigt werden konnten. Daher begannen die Entwurfsarbeiten bereits Anfang des Jahres 1890. Die Anforderungen, die beim Kaiser Wilhelm-Canal an die Schnelligkeit und Sicherheit des Schleusenbetriebes gestellt werden mußten, übertrafen alles in dieser Beziehung bisher Bekannte soweit, daß weder in Deutschland noch im Auslande maßgebende Vorbilder für die Gesamtanlage der Bewegungsvorrichtungen zu finden waren. Unter diesen Umständen bot der Versuch, durch öffentliche Ausschreibung zu einem brauchbaren Entwurf nebst Kostenangebot zu kommen, wenig Aussicht auf Erfolg, und zwar um so weniger, als auch die Anforderungen, die in Rücksicht auf den Schleusenbetrieb an die Bewegungsvorrichtungen zu stellen sind, ebenso wie die von den einzelnen Vorrichtungen

zu leistende Arbeit und die von ihnen unter Umständen aufzunehmenden Kräfte in den Kreisen der deutschen Maschinenfachmänner kaum bekannt waren. Da auch die Bauverwaltung nicht über maschinentechnische Kräfte verfügte, die für die Bearbeitung eines so eigenartigen und umfangreichen Entwurfs ausreichend geschult waren, so mußte sie versuchen, einen zweckentsprechenden und brauchbaren Entwurf der Bewegungsvorrichtungen durch Zusammenarbeiten mit einer Maschinenbauanstalt zu gewinnen. Nach dem damaligen Stande der Technik konnte als Triebkraft der Bewegungsvorrichtungen nur Druckwasser in Frage kommen. Unter den auf dem Sondergebiet der Druckwasseranlagen thätigen deutschen Fabriken fiel die Wahl auf die Maschinenbauanstalt von C. Hoppe in Berlin, die sich durch eine langjährige und erfolgreiche Thätigkeit auf diesem Gebiet einen geachteten Namen erworben hatte und damit die Gewähr für die sorgfältige und sachgemäße Erledigung eines ihr zu Theil werdenden Auftrags bot.

Die Ausarbeitung des Entwurfes begann im Jahre 1890, sie nahm infolge der mehrfachen Umarbeitungen, die der Entwurf in dem Bestreben, die Anlage möglichst vollkommen zu gestalten, erfuhr, bis zur endgültigen Festsetzung aller wichtigeren Einzelheiten fast zwei Jahre in Anspruch. Die Hauptarbeitslast fiel dabei naturgemäß der Maschinenbauanstalt zu, insbesondere blieb ihr der maschinentechnische Theil der Aufgabe vollständig überlassen. Im April 1892 wurde die Vereinbarung getroffen, durch die der Firma C. Hoppe die Lieferung und die betriebsfertige Aufstellung aller in den Maschinenkammern, Gängen und Tunneln der Schleusen befindlichen Theile der Bewegungsvorrichtungen mit Ausnahme der Lieferung der Rohre für die Druckwasser-, Hintereinanderschalt- und Rücklaufleitungen sowie der Spille freihändig übertragen wurde. Die Lieferung der Rohre wurde im Wege des öffentlichen Verdingungsverfahrens an die Firma Balcke, Telling u. Co. in Benrath als Mindestfordernde, und die Lieferung der Spille in gleicher Weise an die Gute Hoffnungshütte in Oberhausen übertragen. Die Herstellung der Heizungsanlagen der Schleusen war von der Maschinenbauanstalt von C. Hoppe übernommen, von ihr aber an Rietschel und Henneberg, die auch den bezüglichen Entwurf selbständig bearbeitet hatten, weiter vergeben worden. Die technischen Bedingungen für die Verdingung der Rohre und der Spille waren von Hoppe geliefert worden, ebenso lieferte die Maschinenbauanstalt auch die maschinentechnischen Bedingungen für die öffentliche Ausschreibung der Lieferung und betriebsfertigen Aufstellung der Kessel, Maschinen und Accumulatoren, sowie der Rohrleitungen der Centralmaschinenanlagen. Bei der dann stattfindenden öffentlichen Verdingung gab auch die Firma Hoppe ein Angebot ab. Dasselbe war etwas höher als das Mindestangebot, hatte diesem gegenüber jedoch solche Vorzüge, daß der Zuschlag an C. Hoppe erteilt wurde. Damit war dieser Firma mit Ausnahme der Leitungsrohre und der Spille die Lieferung aller Maschinentheile der Bewegungsvorrichtungen der Schleusen und die betriebsfertige Aufstellung der Gesamtanlage der Bewegungsvorrichtungen übertragen und zwar durchweg nach den eigenen Entwürfen der Firma.

Die Anlieferung der ersten Theile der Bewegungsvorrichtungen erfolgte im Juni 1892, es handelte sich um die gußeisernen Schuhe, die in die Sohle der Umlaufcanäle eingemauert sind und die unteren Enden der Führungswinkelisen an den Schützenschlitten aufnehmen. Dem Fortschreiten der Maurerarbeiten entsprechend erfolgten dann die weiteren Anlieferungen der einzumauernden Theile, und am Ende des Jahres 1893 konnte mit dem Aufstellen der Maschinen, Triebwellen und Antriebe begonnen werden. Die Arbeiten wurden derart gefördert, daß die Betriebseröffnung der Schleusen in

Holtenu im September, in Brunsbüttel im October 1894 stattfinden konnte. Damit waren die Arbeiten jedoch noch nicht beendet, vielmehr konnten die Anlagen erst im Frühjahr 1895 in vollständig planmäßigen Betrieb genommen werden. Nacharbeiten, wie der Ersatz der gußeisernen Theile der stehenden Wellen der Thorantriebe durch Stahlwellen und der Einbau der Reibungskupplungen in die zugehörigen Schneckengetriebe sind jedoch auch nach der Eröffnung des Kaiser Wilhelm-Canals noch ausgeführt worden. Die Aufstellung der Kessel, Maschinen und Accumulatoren begann Anfang des Jahres 1894, nachdem die Gebäude und das Grundmauerwerk der Maschinen und Accumulatoren seitens der Bauverwaltung soweit fertig gestellt waren, daß mit den Aufstellungsarbeiten begonnen werden konnte, die Aufstellung wurde so betrieben, daß der Stand der Arbeiten in den Centralanlagen und den Schleusen sich möglichst jederzeit gegenseitig entsprach. Als die Anlagen der Schleusen so weit waren, daß die ersten Versuche mit den Druckwassermaschinen gemacht werden konnten, waren auch die Maschinen der Centralanlage so weit aufgestellt, daß die erforderliche Druckwassermenge geliefert werden konnte. In Holtenu verliefen die Aufstellungsarbeiten mit Ausnahme der zeitweiligen, mehr oder weniger bedeutungslosen Erschwernisse, die bei einem großen Baubetriebe infolge des inneren Zusammenhanges der verschiedenen gleichzeitig erfolgenden und erst das Ganze ergebenden Ausführungen nicht zu vermeiden sind, ohne jede Störung, dagegen erwachsen in Brunsbüttel aus der Bewegung der Schleusenseitenmauern mancherlei unliebsam empfundene und zeitraubende Mehrarbeiten. Auch das Grundmauerwerk der Presspumpmaschinen gab infolge des schlechten Baugrundes trotz der bei der Gründung angewandten Vorsichtsmaßregeln nach, was ein mehrfaches Nachrichten der Maschinen usw. nothwendig machte. Trotzdem gelang es, wie oben schon erwähnt, auch in Brunsbüttel, die Anlage rechtzeitig fertig zu stellen.

Nachdem nunmehr reichlich drei Jahre nach der vollen planmäßigen Inbetriebnahme der Bewegungsvorrichtungen verflossen sind, läßt sich ein sicheres Urtheil über den Werth der Anlagen fällen. Daß dieselben nicht gleich von Anfang an frei von Mängeln waren, kann bei der Grofsartigkeit und der vollständigen Neuheit der zur Lösung gestellten Aufgabe nicht verwundern. Nach Beseitigung dieser Mängel haben sie sich jedoch wohl bewährt, insbesondere entsprechen sie in den beiden Hauptansprüchen, nämlich Schnelligkeit des Schleusenbetriebes und Betriebssicherheit, den gehegten Erwartungen und allen berechtigten Anforderungen. Sie können deshalb als durchaus wohl gelungen bezeichnet werden.

Die Kosten der Bewegungsvorrichtungen der Schleusen, einschl. der Schützen, der Spille, der Centralanlagen und der kleinen Werkstätten haben nach den Abrechnungen mit den Unternehmern

für Brunsbüttel rund . . . . .	1 650 000 M,
für Holtenu rund . . . . .	1 500 000 „
betragen, davon entfallen auf die Gebäude bei beiden Schleusen etwa je 220 000 M.	

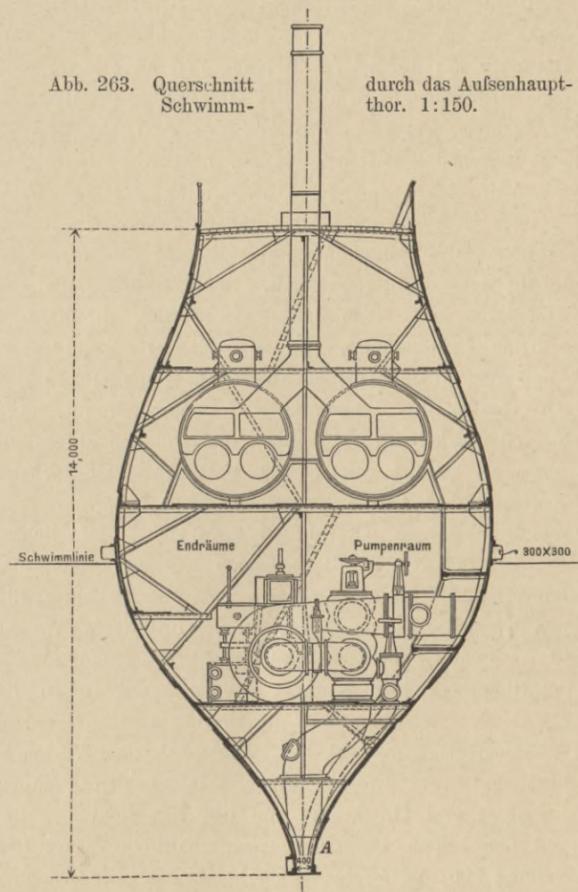
#### e) Die Dockthore zum Trockenlegen der Schleusen für Wiederherstellungsarbeiten.

Die Mittelmauer, die den beiden zu jeder Schleusenanlage in Brunsbüttel und Holtenu gehörigen Kammer-schleusen gemeinsam dient, ist so stark gemacht, daß gleichzeitig die eine Schleuse in Betrieb sein, die andere aber für Wiederherstellungsarbeiten trocken gelegt werden kann. Bei der großen Tiefe, in der sich die Schleusensohlen sowohl in Brunsbüttel wie in Holtenu unter dem Wasserspiegel befinden, und bei der großen Lichtweite der Schleusen, konnten

als Verschlussmittel für eine leer zu pumpende Schleuse nur Schwimmthore in Frage kommen, wie sie bei Trockendocks in vielfacher Verwendung sind. Dementsprechend sind die Schleusen an beiden Enden mit Falzen in den zu diesem Zweck unter  $1:1/4$  geneigten Schleusenmauern und mit einem Anschlag in der Sohle ausgestattet worden. Die Form dieses Falzes und des Anschlages ist aus der Abb. 2 (linker Theil) auf Bl. 18/19 und Abb. 1 auf Bl. 20/21 zu ersehen. Die Abbildungen gehören zur Brunsbütteler Schleuse, sie sind aber mit Ausnahme der Höhenlage der Sohle und der Oberkante des Schleusenmauerwerks auch für Holtenau vollständig zutreffend. Es mußten zwei Schwimmthore beschafft werden, nämlich je eins für das Aufsenhaupt und das Binnenhaupt, und zwar mußten die Abmessungen der Schwimmthore den Verhältnissen in Brunsbüttel entsprechend gewählt werden, weil dort die Schleusensohle um 0,40 m tiefer liegt, der für das Binnenhaupt-Schwimmthor maßgebende höchste Canalwasserstand aber bei beiden Schleusen dieselbe Höhenlage hat und die für das Aufsenhaupt-Schwimmthor maßgebenden Aufsenwasserstände in Brunsbüttel höher sind als in Holtenau. Die Oberkante des Schleusenmauerwerks liegt in Brunsbüttel in dem für das Schwimmthor in Frage kommenden Theile des Aufsenhauptes auf der Höhe +24,50, und bis zur gleichen Höhe hält auch das abgesenkte Aufsenhaupt-Schwimmthor das Elbewasser von der Schleuse ab. Das Oberdeck des Schwimmthors liegt jedoch 1 m tiefer, und nur die der Elbe zugekehrte Aufsenwand ist bis +24,50 hochgeführt. Ihre Oberkante liegt damit etwa 0,50 m unter dem höchsten bekannten Sturmfluth-Wasserstande; das wird jedoch nicht als ein Fehler anzusehen sein, da eine Trockenlegung einer Elbeschleuse wohl kaum zu Zeiten vorgenommen werden wird, in denen Futhen von ungewöhnlicher Höhe zu erwarten sind, und da ferner, selbst wenn dieses aus besonderen Gründen einmal geschehen sein sollte, noch immer die Möglichkeit vorliegt, die Schleuse voll Wasser laufen zu lassen und die Sturmfluth mit den Fluthoren zu kehren. Bei der für das Aufsenhaupt-Schwimmthor gewählten Höhe liegt das Oberdeck, wenn das Schwimmthor in Holtenau verwandt wird, auf der Höhe +23,90, also 0,13 m höher als die Oberkante der dortigen Schleuse, und die der Ostsee zugekehrte Aufsenwand ragt sogar um 1,13 m über das Schleusenmauerwerk hervor. Das Deck des abgesenkten Binnenhaupt-Schwimmthors liegt in Brunsbüttel auf der Höhe +20,30, also 0,03 m über dem höchsten Canalwasserstande, in Holtenau liegt es dementsprechend auf der Höhe +20,70, es befindet sich somit bei beiden Schleusen erheblich unter der Oberkante der benachbarten Schleusenmauertheile. Beide Schwimmthore sind sowohl in schiffbaulicher Beziehung wie auch bezüglich der Ausrüstung mit Maschinen und der Hebe- und Senkvorrichtungen nach denselben Grundsätzen gebaut und unterscheiden sich von einander nur durch die größere Höhe und die damit zusammenhängende größere Oberdeckslänge der Aufsenhaupt-Schwimmthore und durch die größere Stärke, die der Aufsenhaut und den Verbänden dieses Schwimmthors der größeren Wasserdruckkräfte wegen, die auf den Aufsenhauptverschluss einwirken, gegeben werden mußte. Es erübrigt sich deshalb, beide Schwimmthore zu beschreiben, und im folgenden wird nur auf das Aufsenhaupt-Schwimmthor eingegangen werden.

Für die Ausbildung des Schwimmthors war der Entschluß von besonderem Einfluß, die Trockenlegung der Schleusen durch in beiden Schwimmthoren untergebrachte Pumpen zu bewirken. Diese Anordnung empfahl sich, weil sich die Pumpen in den Schwimmthoren ohne jede Erschwerung so aufstellen lassen, daß ihre Saughöhe auch gegen Ende der Pumparbeit noch unterhalb der zulässigen

Grenze bleibt, und weil ferner die Ausfuhrleitung der Pumpen unterhalb des Aufsenwasserspiegels gelegt werden konnte, wodurch erreicht wird, daß die Hubhöhe der Pumpen in jedem Augenblick dem Höhenunterschiede zwischen dem jeweiligen Aufsenwasserstande und der zu der fraglichen Zeit in der Schleuse erreichten Wasserspiegelhöhe entspricht, also stets das Mindestmaß von Pumpenarbeit zu leisten ist. Hätte man diese Verhältnisse anderweitig erreichen wollen, dann wäre es nothwendig gewesen, neben jeder der beiden Kammerschleusen in Brunsbüttel und in Holtenau je einen wasserdichten Schacht, also zusammen vier Schächte, herzustellen und ihn mit den nöthigen Pumpen auszurüsten. Die Anlage der vier Schächte nebst Pumpen und Rohrleitungen, sowie die Beschaffung mindestens einer für den Betrieb der Pumpen ausreichend starken Locomobile



hätte sicher ein mehrfaches von dem gekostet, was für die Ausstattung der Schwimmthore mit den Pumpvorrichtungen aufgewandt worden ist, zumal die Schwimmthore selbst trotzdem hätten beschafft werden müssen. Dazu kommt, daß die Schwimmthore jederzeit betriebsbereit sind, sie brauchen nur von ihrer gewöhnlichen Liegestelle im Hafen der Canalwerft in Rendsburg nach der trocken zu legenden Schleuse geschleppt zu werden und können, dort angekommen, sofort abgesenkt und in Betrieb genommen werden. Bei der Anlage von Schächten würde die Heranschaffung der Locomobile, ihre betriebssichere Aufstellung und die Verbindung mit der oder den Pumpen immerhin einige Zeit in Anspruch nehmen.

Um die zum Fortbewegen der Schwimmthore erforderliche Kraft möglichst klein zu halten, sind die Wasserlinien der beiden Schwimmthore so schlank gemacht, als es die Rücksicht auf die Schwimmsicherheit der Schiffkörper irgend gestattete, und zur ferneren Erleichterung des Schleppens sind die Schwimmthore mit je einem Steuerruder ausgestattet worden. Das Ruder kann durch Drehung um annähernd

150° derartig an den Schiffskörper herangeklappt werden, daß es das Absenken des Schwimmthores in keiner Weise behindert.

Die Text-Abb. 263 zeigt einen lothrechten Schnitt durch das Aufsenhaupt-Schwimmthor, der annähernd in der halben Länge desselben geführt ist. Aus der Abbildung ist auch die Lage der Pumpen, Maschinen und Kessel zu ersehen. Die größte Länge des Schwimmthors über den Aufsenkanten der Stevenplatten beträgt 29,70 m, die Länge im Oberdeck 29,20 m. Bei 8 m größter Breite über den Spanten ist das Schwimmthor zwischen Unterkante-Kielplatte und Oberkante der wasserdichten Wand an der dem Aufsenhafen zugekehrten Seite 15 m hoch, und sein Tiefgang beträgt mit 4 t Kohlen in den Bunkern und betriebsfertig mit Wasser gefüllten Kesseln 6,75 m. Dieser Tiefgang gestattet es, daß das Schwimmthor in Brunsbüttel bei einem auf der Höhe + 19,30 liegenden Wasserstande bequem eingefahren und abgesenkt werden kann. Das für die Binnenhäupter beschaffte Schwimmthor hat nur 5,15 m Tiefgang und kann somit auch bei dem niedrigsten in Brunsbüttel eintretenden Canalwasserstande benutzt werden. Wie aus der Text-Abb. 263 zu ersehen ist, befindet sich zwischen dem Kesselraum und dem Maschinenraum ein mit Eisenplatten belegtes Deck. Dieses Deck geht sowohl in der ganzen Breite wie in der ganzen Länge des Schwimmthors wagerecht durch und ist vollständig wasserdicht hergestellt. Der Kesselraum und der Maschinenraum sind 8 m lang; sie werden durch zwei wasserdichte Schottwände, die vom Kiel bis zum Oberdeck und von Aufsenhaut zu Aufsenhaut reichen, von den übrigen Theilen des Schwimmthor-Inneren getrennt. Die Kessel sind oberhalb der Maschinen und Pumpen aufgestellt und erzeugen Dampf von 7 Atm. Ueberdruck. Jeder der beiden Kessel hat 45 qm Heizfläche, zwei Feuerrohre von 900 mm Durchmesser und 86 Siederohre von 76 mm lichter Weite. Der Schornstein dient beiden Kesseln gemeinsam. Die Pumpenanlage ist so bemessen, daß eine Schleuse, die bei dem Wasserstande von + 19,77 rund 53 000 cbm Wasser enthält, in zwölf Stunden bis zur Oberkante der Saugöffnungen der Schwimmthore leer gepumpt werden kann, sofern die Pumpen beider Schwimmthore in Betrieb gesetzt werden. Jede Pumpenanlage besteht aus einer stehenden Verbundmaschine und zwei Kreiselpumpen. Die beiden Pumpen haben Saug- und Druckrohre von 500 mm lichter Weite, während der beiden Pumpen gemeinschaftliche Theil der Saugleitung 700 mm Durchmesser erhalten hat. Die Maschine hat einen Hochdruckcylinder von 330 mm und einen Niederdruckcylinder von 600 mm Durchmesser, der Hub beträgt 250 mm, die Arbeitsleistung 200 indicirte Pferdekräfte bei der größten Umdrehungszahl, nämlich 370 in der Minute. Die Expansion kann während des Ganges der Maschinen von Hand verstellbar werden, die Condensation der Abdämpfe wird durch einen Oberflächencondensator bewirkt. Die Maschine ist in der Mitte zwischen den beiden Pumpen aufgestellt, ihre Kurbelwelle ist mit den Wellen der Pumpen fest gekuppelt. Das Saugerohr der Pumpen ist an die Decke eines im untersten Theil des Schwimmthors angeordneten Saugkastens, dessen der Schleuse zugekehrte Seite frei ist, angeschlossen. Dicht über dem Fußboden des Maschinenraumes ist in diese Leitung ein Absperrventil eingebaut. Das Druckrohr der Pumpen ist unterhalb der Schwimmlinie des Schwimmthors an die dem Vorhafen zugekehrte, mit einer entsprechenden Oeffnung versehene Schwimmthorwand herangeführt. Auch in diese Leitung ist ein Absperrventil eingebaut, zwischen diesem und der Aufsenwand des Schwimmthors sind an die Leitung noch zwei, ebenfalls durch Ventile verschließbare Rohrleitungen angeschlossen, die nach

den beiden Endtheilen des Schwimmthors führen und das Einlassen von Wasser in diese Theile gestatten.

Soll ein Schwimmthor in Benutzung genommen werden, dann wird es zunächst derartig in die Schleuse eingefahren, daß sein Steven beim Absenken in die im Schleusenmauerwerk ausgesparten Falze hineinkommen muß. Darauf werden die beiden zuletzt erwähnten Ventile geöffnet, und das Wasser strömt in die außerhalb des Maschinen- und Kesselraumes gelegenen Theile des Schwimmthors. Dadurch wird das Gewicht des Schwimmthors vergrößert, und dieses senkt sich. In dem oben erwähnten, in der Höhe der Decke des Maschinenraumes durch den ganzen Schiffskörper hindurchgehenden wasserdichten Deck sind Oeffnungen frei gelassen, durch die beim Beginn des Senkens zunächst die unter dem Deck befindliche Luft abströmen kann, bei weiterem Fortgang des Senkens aber auch das einströmende Wasser Zugänge zu den beiden Räumen oberhalb des Decks findet. Die Ventile in den Rohrleitungen werden vom Oberdeck aus bedient, und deshalb ist es leicht, das Einströmen des Wassers so zu regeln, daß das Schwimmthor ganz gleichmäßig absinkt. Sobald es seine tiefste Stellung erreicht hat, d. h. wenn es noch eben schwimmt, sich noch nicht auf die Schleusensole aufgesetzt hat, werden die beiden Ventile geschlossen, und das Schwimmthor wird mit Flaschenzügen so fest wie möglich an die Seite des Falzes in den Schleusenmauern, an die es später durch den Wasserüberdruck geprefst wird, herangeholt und legt sich dabei auch an den Sohlenanschlag an. Werden nunmehr die Kreiselpumpen in Betrieb genommen, so senkt sich der Wasserspiegel in der Schleuse allmählich, und dieser Senkung entsprechend wächst auch die Kraft, mit der das Schwimmthor an seine Anschlagflächen herangeprefst wird, und damit die Dichtigkeit des Verschlusses. Die Anschlagflächen des Schleusenmauerwerks bestehen aus Granitquadern, die mit besonderer Sorgfalt so bearbeitet sind, daß die ganze Anschlagfläche möglichst genau in einer lothrechten Ebene liegt. An dem Steven des Schwimmthors ist eine glatt gehobelte Holzleiste angebracht, wie aus der Text-Abb. 263 zu ersehen ist.

Bei dem Auspumpen der Schleuse erhöht sich allmählich die Hubhöhe der Pumpen, und dementsprechend müßte sich auch die Arbeitsleistung der Dampfmaschine erhöhen,

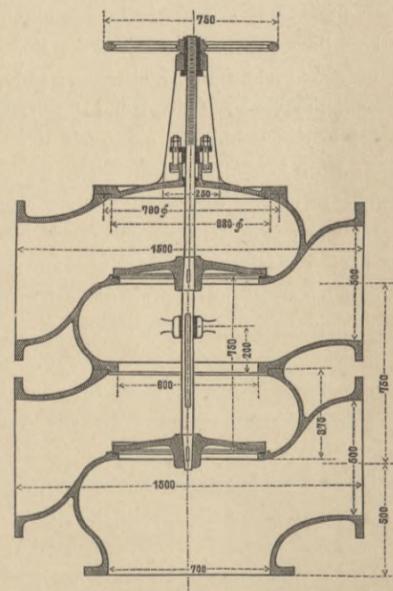


Abb. 264. Lothrechter Schnitt durch das Wechselventil.

wenn die geförderte Wassermenge während der Dauer des Pumpenbetriebes dieselbe bleiben soll. Um infolge dieses Umstandes nicht zu ungünstige Betriebsverhältnisse zu erhalten, ist eine Anordnung getroffen, die es gestattet, daß die beiden Pumpen entweder gleichzeitig Wasser aus der Schleuse nach dem Vorhafen (bei dem Schwimmthor am Binnenhaupt selbstverständlich nach dem Binnenhafen) fördern, oder daß die

eine Pumpe der anderen das Wasser zuhebt und die zweite es erst in den Aufsenhafen drückt. Diesem Zweck dient das in der Text-Abb. 264 dargestellte Wechselventil, dessen Ventil-

teller in der Abbildung für den Betrieb zweier hintereinander geschalteten Pumpen eingestellt sind. An den unteren, 700 mm im lichten weiten Rohrstützen schließt die gemeinschaftliche Saugleitung der beiden Pumpen an. Der untere Stutzen rechts führt zu der ersten Kreiselpumpe, an den oberen Stutzen rechts ist die Druckleitung dieser selben Pumpe angeschlossen. Das von der ersten Pumpe geförderte Wasser gelangt im Inneren des Wechselventils nach dem unteren Stutzen links, an den die Saugleitung der zweiten Pumpe angeschlossen ist, in dieser Leitung nach der zweiten Pumpe und wird von dieser in die zugehörige Druckleitung gefördert, die sich in zwei Arme theilt, von denen der eine an den oberen Stutzen links angeschlossen ist, der andere aber die gemeinschaftliche Ausfuhrleitung beider Pumpen bildet. Soll das Wechselventil so eingestellt werden, daß beide Pumpen unabhängig von einander arbeiten, dann sind nur die beiden, aus der Text-Abb. 264 ersichtliche Ventilteller mit Hilfe der Spindel zu heben. Der untere Teller verschließt dann die kreisförmige Oeffnung, durch die bei dem oben beschriebenen Pumpenvorgang das von der ersten Pumpe geförderte Wasser in die Saugleitung der zweiten Pumpe gelangte, und giebt den Weg aus der gemeinschaftlichen Saugleitung nach der Saugleitung der zweiten Pumpe frei. Der obere Teller übt keine Wirkung mehr aus, durch seine Hebung ist aber dem von der ersten Pumpe geförderten Wasser ein Weg nach der gemeinschaftlichen Ausfuhrleitung eröffnet worden. Vermöge dieser Einrichtung kann die Hubhöhe jeder der beiden Pumpen auf die Hälfte des Höhenunterschiedes zwischen den Wasserspiegeln in der Schleuse und im Vorhafen herabgemindert werden, wobei denn allerdings die geförderte Wassermenge auch auf die Hälfte herabgeht, und dadurch wird der Pumpenbetrieb wesentlich wirtschaftlicher.

Die Kreiselpumpen können die Schleusen nur bis zur Höhe ihrer Saugöffnung entleeren, und diese Oeffnung liegt, wie aus Text-Abb. 263 zu ersehen ist, etwa 0,50 m über der Schleusensole, da in dem tiefer liegenden Theil des Schwimmthors nicht mehr genügend Platz für die weite Rohrleitung vorhanden ist. Um auch den letzten Rest des Wassers aus der Schleuse entfernen zu können, ist jedes Schwimmthor noch mit einer kleinen Kreiselpumpe ausgerüstet, deren Saugerohr bis etwas unter die Schleusensole herabgeführt werden konnte. Diese Pumpe soll auch dazu dienen, das während der Trockenhaltung der Schleuse durch Regenfälle, durch Undichtigkeiten in den Anlegeflächen des Schwimmthors und aus sonstigen Ursachen in die Schleusen gelangende Wasser zu entfernen.

Wenn die Arbeiten in der Schleuse, für die die Trockenlegung derselben erfolgte, beendet sind, dann muß die Schleuse zunächst wieder mit Wasser gefüllt werden. Für diesen Zweck sind dicht über dem Steven Rohrleitungen in die Schwimmthore eingebaut, die von Aufsenhaut zu Aufsenhaut führen und durch Ventile geschlossen werden. Sobald die Ventile geöffnet werden, strömt das Wasser durch die Leitungen in die Schleuse, und zwar ist der Durchmesser der Rohre so bemessen, daß das Anfüllen der Schleuse bei einem ständig auf der Höhe von +19,77 liegenden Aufsenwasserstande etwa sechs Stunden Zeit erfordert. Nunmehr ist noch das Heben und Ausfahren des Schwimmthors nöthig. Das Heben geschieht durch Auspumpen des beim Senken in die beiden Endtheile, die außerhalb der die Maschinen- und Kesselräume begrenzenden wasserdichten Querschotte liegen, eingelassenen Wassers. Das Auspumpen kann entweder mit den beiden großen oder mit der kleinen Kreiselpumpe erfolgen, da von beiden Pumpenanlagen Saugrohre nach den Endtheilen führen.

Werden die großen Pumpen benutzt, dann erfordert die Hebung nicht ganz zwei Minuten Zeit, die Benutzung der kleinen Pumpe kommt eigentlich nur dann in Frage, wenn beim Absenken des Schwimmthors ungeschickt vorgegangen worden ist und das Schwimmthor sich unten auf die Schleusensole aufgesetzt hat. Es muß dann so weit angehoben werden, daß es eben über der Sohle schwimmt, um sich unter der Einwirkung des nach der Inbetriebnahme der großen Pumpen eintretenden Wasserüberdrucks leicht und sicher an die Anschlagflächen der Seitenmauern und der Schleusensole anzulegen, und dazu bedient man sich der kleinen Kreiselpumpe, weil dann das Heben des Schwimmthors so langsam vor sich geht, daß das Schwimmthor genau auf die gewünschte Höhenlage eingestellt werden kann. Zur Erleichterung dieses Einstellens sind an beiden Enden und an beiden Seiten der Schwimmthore Tiefgangsmarken angebracht.

Der Schiffskörper der Schwimmthore ist durchweg aus weichem Flußeisen hergestellt, auf seine Durchbildung soll hier nicht näher eingegangen werden, da diese in das Gebiet des Schiffbaues fällt. Die Text-Abb. 263 läßt übrigens die wichtigsten Einzelheiten erkennen. Der Entwurf zu den Schwimmthoren und den zugehörigen Maschinen wurde im Wege des öffentlichen Verdingungsverfahrens erzielt. Der Ausschreibung lag ein Programm zu Grunde, in dem neben den Angaben der Schleusenmaße die Zweckbestimmung der Schwimmthore und die Anforderungen, die seitens der Canal-Bauverwaltung an die Schiffsgefäße und die Maschinen gestellt wurden, näher erläutert waren. Bei dieser Verdingung gab die Actiengesellschaft „Howaldtswerke“ in Kiel ein Angebot ab, das in allen wesentlichen Theilen die Schwimmthore so vorsah, wie sie oben beschrieben worden sind, und erhielt darauf den Zuschlag. Die Ablieferung der Schwimmthore erfolgte im Juni 1894, in Benutzung sind sie noch nicht gekommen und kommen auch hoffentlich erst in späterer Zeit einmal dazu. Angaben über ihre Bewährung können also nicht gemacht werden; es kann nur gesagt werden, daß die Proben, soweit sie bisher gemacht worden sind und ohne Trockenlegung einer Schleuse gemacht werden konnten, günstige Ergebnisse geliefert haben.

Nach der Abrechnung des mit den Howaldtswerken abgeschlossenen Vertrages haben gekostet:

das Aufsenhaupt-Schwimmthor . . .	190 300 <i>M</i>
das Binnenhaupt-Schwimmthor . . .	159 700 „
beide Thore zusammen also	350 000 <i>M</i> .

In diesem Preise ist die Lieferung sämtlicher für den Betrieb der Schwimmthore nothwendigen Geräte und Handwerkszeuge und die Lieferung einer größeren Anzahl von Ersatzstücken mit eingeschlossen. Zum Schluß soll noch erwähnt werden, daß das Binnenhaupt-Schwimmthor mit einer Vorrichtung versehen worden ist, die es gestattet, die beiden großen Kreiselpumpen zum Auspumpen von Wasser aus beschädigten und infolge dessen voll Wasser gelaufenen Schiffen zu benutzen. Es ist nämlich ein an den gemeinschaftlichen Theil der Saugleitung der beiden Pumpen angeschlossen Rohr nach dem Deck des Schwimmthors hinaufgeführt und hier mit einem drehbaren Saugkopf versehen, der seinerseits mit acht Verschraubungen zum Anschluß von Schläuchen und den zugehörigen acht Absperrventilen ausgestattet ist. Diese Vorrichtung ist bisher noch nicht benutzt worden und wird auch wohl in Zukunft kaum jemals in Gebrauch kommen, da unterdessen ein Pumpendampfer für den Canal beschafft worden ist, der vermöge seiner größeren Beweglichkeit schneller zu dem verunglückten Schiffe gelangen kann, als das Schwimmthor.



wie die angestellten Bohrungen ergeben hatten und wie aus der Abb. 1 auf Bl. 41 zu ersehen ist, unter den oberen, zum Theil sehr dünnen und verschiedenartig gelagerten Kies- und Sandschichten aus einer Mergelschicht, deren Tragfähigkeit nach den Bohrproben nur gering zu veranschlagen war. Unter dem Thon, aber 12 m unter der Geländeoberfläche, folgte Sand, der als tragfähig anzusprechen war. Die Höhe des Dammes erreichte bei dem Durchlasse, von dem Gelände ab gerechnet, 24 m, die größte in der Eisenbahnverlegung überhaupt vorkommende Höhe. Da auch der für die Dammschüttung zur Verfügung stehende Boden zu einem großen Theil aus mehr oder minder feuchtem Mergel bestand, so war gar nicht abzusehen, welche Bewegungen während der Herstellung des Dammkörpers in dem Damm selbst und ebenso in dem Baugrunde auftreten würden, insbesondere war zu befürchten, daß auf den vor der Dammschüttung fertig zu stellenden Durchlaß außer den lothrechten, durch das Gewicht des Dammes hervorgerufenen Kräften auch noch erhebliche, mehr oder weniger der wagerechten Richtung sich nähernde Kräfte einwirken würden. Unter diesen Umständen schien es nicht angebracht, das Bauwerk auf einen bis auf den festen Baugrund hinabreichenden Pfahlrost zu gründen und seinem Gewölbe oder seinen Gewölben die Eiform zu geben, wie es sonst vielfach bei Durchlässen unter hohen Dämmen geschehen ist und in vielen Fällen auch als zweckmäßig angesehen werden muß. Vielmehr erschien es bei der Unsicherheit über die Richtung, in der die Kräfte auf das Bauwerk einwirken, zweckmäßig, die lichte Fläche des Durchlasses so zu wählen, daß er beliebig gerichteten Kräften möglichst einen gleichen Widerstand entgegengesetzt, also die Durchlaßöffnung annähernd kreisförmig zu gestalten. Ferner mußte darauf Bedacht genommen werden, daß die auf das Bauwerk zur Wirkung gelangenden Kräfte möglichst klein wurden, und dazu war es nöthig, daß das Bauwerk bis zu einem gewissen Grade an den Bewegungen des Dammes und seines Untergrundes theilnehmen konnte. Diese Bewegungen mußten ungleichmäßig ausfallen, da die Ueberschüttungshöhe in der Längsrichtung des Durchlasses, wie aus der Abb. 1 auf Bl. 41 zu ersehen ist, stark wechselt. Um der Gefahr vorzubeugen, daß das Bauwerk in einzelne Theile zerrissen würde, die sich nach der Trennung ganz unabhängig von einander bewegten, wurde der Durchlaß auf einen aus starken Hölzern hergestellten Schwellrost gesetzt, der bis zu seiner Unterkante einbetonirt bzw. eingemauert wurde und dazu bestimmt ist, die Bewegungen eines Durchlaßtheiles auch nach Eintritt eines in ganzer Höhe und ganzer Breite des Bauwerks durchgehenden Querrisses auf die Nachbartheile zu übertragen und die Zugkräfte aufzunehmen, die in den unteren Theilen des Bauwerks auftreten mußten, wenn der Damm, wie zu vermuthen war, in der Mitte, wo seine Höhe am größten ist, den Untergrund am meisten zusammenpreßte.

Die Abb. 1 bis 6 auf Bl. 41 stellen den Durchlaß so dar, wie er zur Ausführung gelangt ist. Danach hat er zwischen den an den Stirnen angeordneten Spundwänden eine Länge von 77,46 m und zwei annähernd kreisförmige Durchflußöffnungen, die durch einen kräftigen Mittelpfeiler von einander getrennt sind. Das Mauerwerk ist theils aus Klinkern mit Cementmörtel vom Mischungsverhältniß 1 : 3, theils aus Stampfbeton, der aus 1 Theil Cement, 4,5 Theilen Sand und 7 Theilen Granitkleinschlag besteht, hergestellt. Die Gewölbe sind aus  $\frac{1}{2}$  Stein starken Ringen gebildet, die, so oft wie angängig, mittels ganzer, gleichzeitig zu zwei über einander liegenden Ringen gehöriger Steine in gegenseitigen Verband gebracht wurden. Die Stirne des Durchlasses, die Vorköpfe des Mittelpfeilers und die Flügel sind zur Erzielung größerer Dauerhaftigkeit mit Granitbruchsteinen,

die bei der Ausschachtung der benachbarten Canalstrecke gewonnen waren, und mit Granitwerksteinen aus Steinbrüchen des Harzes verblendet worden. Die obere Abdachung des Durchlasses ist auf einer in Cementmörtel verlegten Ziegelflächenschicht mit einer 1 cm starken Lage Asphaltfilz aus der Fabrik von Büsscher und Hoffmann in Eberswalde abgedeckt, die übrigen Betonflächen sind nur mit einem glatten Cementputz versehen worden. Der Mauerwerkskörper des Durchlasses ist durch vier Querfugen in fünf Theile getheilt, während der Rost von Endspundwand zu Endspundwand ungetheilt durchgeht.

Die allgemeine Anordnung der Brücke. Auf die Gestaltung des eigentlichen Brückenbauwerks hatten zwei Umstände den wesentlichsten Einfluß. Die westholsteinische Eisenbahn und die Landstraße von Hademarschen kreuzten die Canallinie, wie oben bereits gesagt worden, in einem Abstände von ungefähr 900 m, und für diese beiden Verkehrswege mußten solange, bis die herzustellende Brücke für die Ueberleitung des Verkehrs benutzt werden konnte, zwei Dämme quer durch die Canalaussschachtung stehen bleiben. Diese Dämme erschwerten den Arbeitsbetrieb in der Grüenthaler Canalstrecke, die einen Theil des großen Erdarbeiten-Loses VI bildete, in empfindlichster Weise, und es war deshalb in Rücksicht auf die rechtzeitige Vollendung der Arbeiten in diesem Lose, die allein die Bewegung von rund 14 Millionen Cubikmeter Boden umfaßten, geboten, diese Dämme baldmöglichst zu entfernen. Deshalb mußte die Brücke so angeordnet werden, daß ihre Ausführung ganz unabhängig von dem Stande der Erdarbeiten erfolgen und sofort nach Beendigung der Entwurfsarbeiten in Angriff genommen werden konnte.

Das Gelände lag an der Stelle, wo die Brücke zu erbauen war, auf der Höhe + 41,63, und daraus ergab sich die Entfernung zwischen den Oberkanten der Canalböschungen zu ungefähr 144 m. Es kam in Frage, ob diese Weite in einer Spannung zu überbrücken, oder ob die Stützweite des Ueberbaues durch Anordnung von Mittelpfeilern in mehrere Theile zu zerlegen war. Die von der Kaiserlichen Marine an die Brücke gestellten Forderungen gingen, wie oben schon erwähnt, nur dahin, daß die Lichthöhe des Bauwerks in den mittleren 35 m der Canalbreite 42 m betragen müsse, sie hätten also die Anordnung von zwei Mittelpfeilern gestattet. Dagegen ließen die Baugrundverhältnisse es nicht rathsam erscheinen, Mittelpfeiler zu wählen. Das Grundmauerwerk solcher Pfeiler hätte bis unter die Canalsohle oder wenigstens bis in die Nähe derselben hinabgeführt werden müssen, und gerade in dieser Höhenlage bestand der Baugrund aus ziemlich feinem Sand, der unter starkem Wasserdruck stand und die Gründung der Pfeiler recht schwierig und kostspielig gemacht haben würde. Außerdem hätten die Pfeiler von der Einschnittshöhe aus, die bei Beginn der Gründungsarbeiten durch die Erdarbeiten erreicht war, herabgetrieben werden müssen, und endlich konnte der Bestand der hohen Pfeiler durch nachträgliche Bodenbewegungen in den unteren Schichten leicht gefährdet werden. Allen diesen Unbequemlichkeiten und Unsicherheiten entging man durch die Ueberbrückung des Canals in einer einzigen Spannweite, und deshalb wurde auf die Anordnung von Mittelpfeilern und die daraus sich voraussichtlich ergebende Ersparnis an den Baukosten verzichtet. Um dabei die Brücke gegen Schädigungen zu sichern, die als Folge kleinerer, bei der Aushebung des Canalquerschnitts unter der Brücke eintretender und wegen des starken Wassergehaltes der tief liegenden Sandschichten zu befürchtender Rutschungen sich ergeben konnten, wurden die Widerlager der Brücke beiderseitig des Canals 6 m von der Vorderkante der Canalböschungen ab-

gerückt, sodass die Lichtweite zwischen den Widerlagern 156 m beträgt. Hieraus ergab sich zugleich die Möglichkeit, auf beiden Canalufem Wege unter der Brücke durchzuführen.

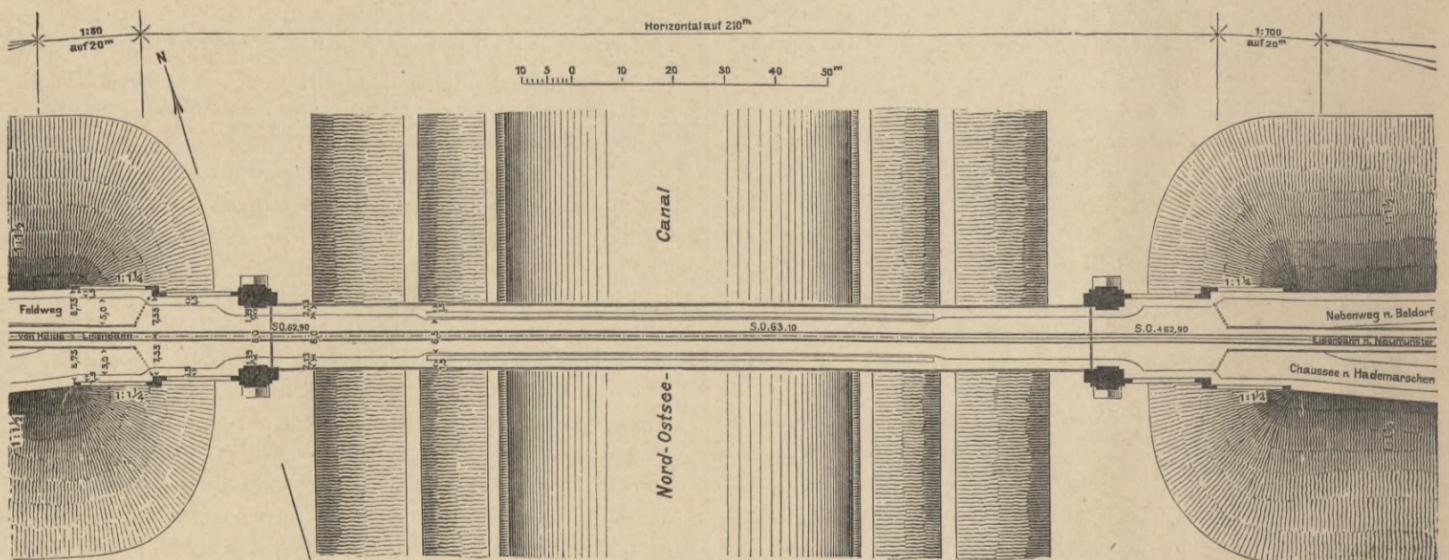
Nachdem die Entscheidung getroffen war, dass die Brücke nur eine Spannung erhalten solle, trat die Frage auf, welche Bauart dem Ueberbau zu geben sei. Die Anwendung eines Gewölbes konnte bei der grossen Spannweite nicht in Betracht kommen, es musste also Eisen für die tragenden Theile des Ueberbaues gewählt werden, und da war die Wahl zwischen Balkenträgern und Bogenträgern zu treffen. Beide Trägerarten erfordern bei Spannweiten von mehr als 100 m unter

Diese Umstände führten zu dem Entschlus, die Bogenform für die Hauptträger anzunehmen.

Der Ueberbau der Brücke. Die Forderung der Marine, dass die lichte Höhe unter der Brücke auf 35 m Breite 42 m betragen müsse, sowie die behufs Verminderung der Dammhöhen auf nur 1,13 m festgesetzte Höhe zwischen der Unterkante des Ueberbaues und der Schienenoberkante machten es nothwendig, die Hauptträger in dem mittleren Theil der Brücke über die Fahrbahn hinausragen zu lassen (Text-Abb. 266). In welchem Mafse das stattfinden musste, war sowohl von der Höhenlage der Bogenstützpunkte als auch von dem Pfeilverhältniss des Bogens abhängig. Die



Abb. 266.  
Brücke bei Grünenthal.



gewöhnlichen Verhältnissen etwa dieselben Baukosten. Bei der Grünenthaler Brücke mussten die Widerlager dem Erd- druck eines Dammes von mehr als 20 m Höhe widerstehen, und da musste der Bogenschub, der sonst eine grössere Stärke der Widerlager als bei gleichweit gespannten Balken- brücken nothwendig macht, auf die Verringerung der Wider- lager-Abmessungen hinwirken. Es war also zu erwarten, dass eine Bogenbrücke unter den vorliegenden Verhältnissen gegenüber einer Balkenbrücke eher etwas billiger als theurer werden würde. Ausserdem haben die Bogenbrücken den Vortheil, dass sie den Anforderungen, die aus Schönheitsrücksichten an Brückenbauten zu stellen sind, viel mehr entsprechen als Balkenbrücken, und hierauf wurde um so mehr Werth ge- legt, als zur Zeit der Entwurfbearbeitung die Grünenthaler Brücke das einzige Bauwerk des Canals war, mit dem eine grosse, die bauliche Bedeutung des Canals zum Ausdruck bringende monumentale Wirkung erzielt werden konnte.

Stützpunkte der Bogen mussten mindestens so hoch über dem Gelände liegen, dass die Streifen zwischen den Pfeilern und den Böschungskanten für den Verkehr mit hochbeladenen Erntewagen benutzt werden können. Um dieser Anforderung zu entsprechen, hätten die Auflager tiefer gelegt werden können, als sie in Wirklichkeit liegen, ihre Höhenlage ist aus dem Gesichtspunkt heraus bestimmt worden, dass sie einem Beobachter, der auf einem den Canal durchfahrenden Schiffe steht, nicht durch die Oberkante der Einschnitts- böschungen verdeckt werden, die Höhenlage ist also nach schönheitlichen Rücksichten gewählt worden. Das Pfeil- verhältniss der Bogen wurde so gross genommen, dass sich ein- mal zwischen den beiden Bogen noch möglichst günstige Querverbindungen oberhalb der Fahrbahn anbringen liessen, dass die Strecke, auf welche die Bogen solche Querverbin- dungen nicht erhalten konnten, möglichst kurz wurde und endlich die durch die Bogen, die Fahrbahn und die Ver-

bindungsglieder zwischen der Fahrbahn und den Bogen gebildeten Felder angemessene Höhen- und Breitenverhältnisse erhielten.

Für die Bogen wurde die Sichelform mit der größten Höhe in der Brückenmitte und der kleinsten Höhe an den beiden Bogen-Enden gewählt. Die beiden Auflager sind mit Gelenken versehen. Der Obergurt der Bogen ist nach einem Halbmesser von 150 m, der Untergurt nach einem Halbmesser von 135 m gekrümmt, an den Bogen-Enden laufen jedoch Ober- und Untergurt nicht in einem Punkt zusammen, vielmehr beträgt die Entfernung zwischen den Schwerpunkten des Ober- und Untergurts, gemessen senkrecht zur Bogenmittellinie und in 1,15 m Abstand von dem Mittelpunkt des Drehgelenks, noch rund 1 m. Die Höhe der Bogen, gemessen zwischen den Schwerpunkten des Ober- und Untergurts, beträgt in der Brückenmitte 4,10 m. Der Ober- und der Untergurt des Bogens haben den in der Text-Abb. 267 dargestellten Querschnitt erhalten, die Vergrößerung oder die Verringerung der Gurtquerschnitte ist durch Hinzufügen oder durch Weglassen eines oder mehrerer Paare der 500 mm breiten Deckbleche, theilweise auch durch Ersatz der obersten Decklaschen durch nur 300 mm breite Laschen erfolgt. Jeder Gurt ist der Länge nach in der Mitte getheilt, und die Längsfuge ist durch aufgenietete, 200 mm breite Flacheisen gedeckt. Durch diese Theilung ist erreicht worden, daß die zu den Gurtplatten verwandten Eisentheile nur die halbe Breite der Gurte zu haben brauchten und so die Verwendung von Flacheisen möglich wurde, während die Gurtplatten sonst aus Blechen hätten hergestellt werden müssen, die nicht nur um wenigstens 25 v. H. theurer sind, sondern auch wegen der geringeren Länge, in der sie erhältlich sind, eine beträchtliche Vermehrung der Stöße herbeigeführt haben würden.

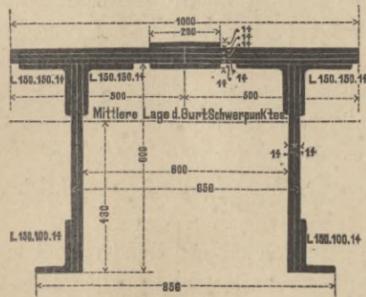


Abb. 267.  
Querschnitt der Bogengurte.

Auch wiegen die einzelnen Stücke, in denen die Bogengurtungen nach der Baustelle gesandt werden mußten, nur die Hälfte, sodafs die Stücke bei gleichem Gewicht doppelt so lang gemacht werden konnten, also die Nietarbeit bei der Aufstellung der Brücke wesentlich eingeschränkt werden konnte. Nachteile stehen diesen Vortheilen nicht gegenüber, da die 200 mm breiten Deckbleche mit in den Gurtquerschnitt gerechnet werden konnten. Die die Stehbleche an der von den Gurtblechen abgekehrten Kante säumenden Winkeleisen haben den Zweck, das Trägheitsmoment der Gurte zu vergrößern. Diese Vergrößerung war erwünscht, weil zwischen zwei Knotenpunkten der Bogen in den Gurten Biegungsspannungen auftreten, die theils eine Folge der Krümmung der Gurte sind, theils durch das Eigengewicht der Gurte hervorgerufen werden. Die Winkeleisen boten überdies Gelegenheit, die beiden Gurttheile durch Gitterwerk zu verbinden und damit die Stehbleche gegen Ausbiegen an ihren freien Enden zu sichern.

Das die Bogengurtungen mit einander verbindende Gitterwerk besteht aus zwei sich kreuzenden Scharen von Schrägstreben und aus lothrechten Pfosten. Dadurch sind die Bogen mehrfach statisch unbestimmt geworden, während sie bei Anordnung einfacher Schrägstreben ohne Pfosten nur einfach statisch unbestimmt gewesen wären. Dieser Nachtheil wurde nicht verkannt, trotzdem aber theils aus Rücksichten auf die äußere Erscheinung der Brücke, theils aus Rücksichten auf

die Ausbildung besonders der Querverbände in den Kauf genommen. Die Fahrbahn der Brücke ist im mittleren Theil der Länge mittels lothrechter Stäbe an den Bogenuntergurt angehängt, in den Endtheilen mittels lothrechter Pfosten auf den Bogenobergurt gestützt. Es erschien angemessen, dementsprechend auch das Gitterwerk zwischen den Bogengurten an den Unterstützungspunkten mit lothrechten Gliedern zu versehen. In baulicher Beziehung ergab sich damit zugleich die Möglichkeit, zwischen den beiden Gurten Querverbände herzustellen, die in einer lothrechten Ebene liegen und somit nicht das Bestreben haben, infolge ihres Eigengewichtes aus ihrer Ebene herauszubiegen. Das war für alle Querverbände erwünscht, besonders wichtig aber für die beiden Querverbände, in denen die Windkräfte, die auf den über der Brückenfahrbahn liegenden Theil der Bogen einwirken, auf die unter der Fahrbahn liegenden Bogentheile behufs Weiterleitung nach den Widerlagern übertragen werden.

Die Pfosten und die Schrägstreben des Gitterwerks der Bogen sind je aus zwei Paar Winkeleisen, die durch gekreuzte Flacheisenstäbe mit einander verbunden sind, gebildet. Bei den Pfosten und den nach den Widerlagern zu steigenden Schrägstreben weisen die senkrecht zu den Bogenebenen stehenden Schenkel der Winkel nach der Mitte der Gurten. Diese Stäbe sind zwischen die Stehbleche der Bogengurte eingebaut, und die mit den Gurten gleichlaufenden Winkeleisen-Schenkel sind mit den Stehblechen vernietet. Die nach der Bogenmitte steigenden Schrägstreben haben die senkrecht zur Bogengurtung stehenden Winkelschenkel nach außen gekehrt und sind mit Hilfe von Anschlußwinkeln mit den Stehblechen der Bogengurtungen in Verbindung gebracht. Infolge dieser Anordnung können sich die sich kreuzenden Schrägstreben unabhängig von einander verschieben. An dem Bogenanfang ist das Gitterwerk durch eine volle Blechwand ersetzt. Zwischen die beiden Blechwände sind lothrecht zur Bogenmittellinie stehende Gitterwände eingebaut. Die beiden Blechwände jedes Bogenanfanges sind mit einigen länglichen Ausschnitten versehen, um der Luft einen leichten Zutritt zu den sonst fast ganz geschlossenen Kästen zu gewähren und dadurch ein rascheres Abtrocknen der Eisentheile zu ermöglichen, die von dem in dem Troge der unteren Gurtung herablaufenden Wasser benetzt werden. Außerdem führen diese Ausschnitte ein günstigeres Aussehen der Bogen-Enden herbei.

Die Entfernung der Auflagermitten der beiden Bogenfüße, gemessen in der Querachse der Brücke, wurde zu 12,40 m gewählt, um die Brücke auch bei starken Stürmen gegen Drehungen um die Auflager der Bogen sicher zu stellen. Da eine dementsprechende Breite der Brückenfahrbahn der Geringfügigkeit des Verkehrs sowohl auf der Landstraße als auch auf der Eisenbahn wegen nicht erforderlich war, so wurde den Bogenträgern die Neigung 1:8 gegen das Loth gegeben. In der Brückenmitte beträgt infolge dessen die wagerechte Entfernung der Obergurt-Schwerpunkte der beiden Bogen nur 6 m, die lichte Breite zwischen den Bogen beträgt dagegen in den für den Fuhrwerksverkehr in Frage kommenden Höhen über der Fahrbahn überall mindestens 6,5 m. Dieses letztere Maß wurde auch für die Breite der Fahrbahn in dem mittleren Theil der Brücke gewählt, während die Fahrbahn in den Theilen, in denen sie oberhalb der Bogenträger liegt, auf 8 m verbreitert ist. Die Fahrbahn hat im Aufrifs eine schwache Krümmung nach oben erhalten, weil lange wagerechte Linien nach unten durchgebogen erscheinen. Bei mittlerer Wärme liegt die Fahrbahn in der Bogenmitte 187 mm höher als an den Enden. Selbst wenn jedes Widerlager unter der Belastung durch die Brücke um 20 mm wagerecht nach außen gewichen wäre, würde der Stich der Fahrbahn auch bei dem höchsten, in Rechnung

gezogenen Kältegrade ( $-30^{\circ}\text{C}$ .) noch 100 mm betragen. Die Eisenbahn ist eingleisig, das Gleis ist auf die Mitte der Brücke verlegt, sodass die Brücke also nicht gleichzeitig von dem Eisenbahn- und Straßenverkehr benutzt werden kann. Die Schienen ruhen auf eichenen Querschwellen, die so nahe bei einander liegen, dass an jeder beliebigen Stelle ein Schienenstofs angeordnet werden kann. Die Schwellen werden von Längsträgern unterstützt, die als Blechträger ausgebildet sind und in der Brücken-Querachse gemessen 1,80 m Entfernung von einander haben. Da diese Blechträger im Verhältniss zu ihrer Länge nur geringe Gurtbreiten haben, sind sie durch drei Querverbände und einen in Höhe des Obergurtes angeordneten, aus einem einfachen Fachwerk bestehenden Längsverband gegen Ausbiegungen, die durch seitliche Drücke der Locomotivräder veranlasst werden könnten, gesichert. Die Fahrbahn der Brücke ist aus einem doppelten Belag von eichenen Bohlen gebildet. Der untere Belag musste 12 cm Stärke erhalten, da die Brücke von Wagen mit 20 t Gewicht und 10 t Achsdruck befahren werden soll; der obere Belag ist 4,5 cm stark. Zwischen den Schienen liegen die unteren wie die oberen Bohlen wagerecht und nach der Längsrichtung der Brücke, außerhalb der Schienen hat der Belag ein Quergefälle von 1:30 erhalten, und der obere Belag ist quer zur Brückenlängsachse gerichtet. Die unteren Bohlen werden, wie die Abbildungen auf Bl. 42 u. 43 ersehen lassen, von einem Rost von U-Eisen, N. P. Nr. 22, getragen. Soweit diese U-Eisen senkrecht zur Brückenlängsachse liegen, ruhen sie sämtlich mit dem einen Ende auf einem der beiden, das Schienengleis unterstützenden Längsträger auf, und außerdem werden sie von einem zweiten Längsträger, der in 1,8 m Entfernung von dem Schienenträger angeordnet und ebenfalls als Blechträger ausgebildet ist, unterstützt.

Der Belag der Fußwege besteht aus 7 cm starken eichenen Längsbohlen, die mit einem nach der Brückenmitte zu gerichteten Quergefälle von 1:50 verlegt sind. Die Bohlen liegen auf eichenen Balkenhölzern auf, die ihrerseits dreimal unterstützt sind, nämlich mit dem einen Ende auf einem Längs-U-Eisen, das von den langen Quer-U-Eisen des den unteren Fahrbelag tragenden U-Eisen-Rostes getragen wird, mit dem anderen Ende auf den unteren Fahrbahn-Bohlen und annähernd in der Mitte auf einem Längs-U-Eisen.

Die zur Unterstützung des Gleises und des Brückenbelages dienenden Längsträger sind an Querträger angeschlossen, die als Blechträger ausgebildet sind und im mittleren Theil der Brücke an den Untergurten der beiden Bogen aufgehängt, in den Endtheilen auf die Obergurte der beiden Bogen abgestützt und dort, wo die Bogen die Fahrbahn durchdringen, an die Pfosten des Bogen-Gitterwerks angeschlossen sind. Die Abb. 1 bis 10 auf Bl. 42 u. 43 zeigen die Verbindung der Querträger mit den Bogenträgern. In dem mittelsten Fahrbahnfeld der Brücke und ebenso in den fünf letzten Feldern an beiden Brücken-Enden sind die Längs-

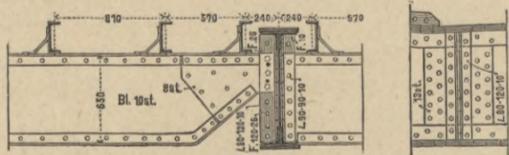


Abb. 268.

Abb. 269.

Abb. 268 u. 269. Beweglicher Anschluß der Längsträger an die Querträger.

träger mit den Querträgern durch Nietung fest verbunden, in den übrigen zwölf Fahrbahnfeldern sind die Längsträger mit ihrem den Brückenwiderlagern zugekehrten Ende mit den Querträgern fest vernietet, das andere Ende schließt beweg-

lich an den zugehörigen Querträger an. Die Text-Abb. 268 und 269 zeigen die Ausbildung des beweglichen Anschlusses eines Fahrbahnträgers. Danach ist das 10 mm starke Stehblech des Trägers, dessen Höhe am Anschluß auf 28 cm eingeschränkt ist, durch zwei aufgenietete Bleche von je 8 mm Dicke verstärkt, und die Gurtwinkel sind vor dem Ende des Stehbleches abgeschnitten. Das verstärkte Stehblech ist zwischen die vom Querträger abstehenden Schenkel von zwei Anschlußwinkeln hineingeschoben und ruht mit seiner sorgfältig bearbeiteten unteren Fläche auf einem ebenfalls sorgfältig bearbeiteten, in seiner Oberfläche abgerundeten Füllstück auf, das zwischen die abstehenden Schenkel der Anschlußwinkel eingebaut und mit ihnen durch Nietung verbunden ist. Durch die Anschlußwinkel und das verstärkte Stehblech hindurch führen zwei abgedrehte Schraubenbolzen, die Bolzenlöcher im Stehblech sind jedoch so groß, dass die Fahrbahnträger sich innerhalb der größten vorkommenden Längenänderungen ungehindert verschieben können. Die Anschlüsse der Längsträger unter dem Eisenbahngleise sind genau ebenso ausgebildet, die Höhe der verstärkten Stehbleche beträgt jedoch 35 cm, das Stehblech selbst ist 12 mm dick, und die Verstärkungsbleche sind 10 mm stark. Warum ein Theil der Längsträger an dem einen Ende beweglich an die Querträger angeschlossen ist, der andere nicht, das wird später erörtert werden.

An beiden Enden der Brücke wird — wie die Abb. 1 u. 2 auf Bl. 42 u. 43 zeigen — je der letzte Querträger von etwa 14 m hohen, auf den Bogenobergurt abgestützten eisernen Pfosten getragen. Mit zunehmender Wärme werden diese Pfosten länger, und dementsprechend heben sich auch die End-Querträger; mit abnehmender Wärme werden die Pfosten kürzer, und dieselbe Wirkung übt jede Belastung der Pfosten aus, wie sie z. B. beim Auffahren eines Zuges stattfindet. Die kleinen Längsträger, die die Verbindung zwischen den Brückenwiderlagern und den Endquerträgern herstellen, mußten infolge dessen auf dem Pfeilermauerwerk auf kleine Kipplager aufgelegt und an die Querträger in ähnlicher Weise angeschlossen werden, wie es soeben für die Anschlüsse der Längsträger im mittleren Theil der Brücke beschrieben worden ist.

Die Brückenfahrbahn hat ihren eigenen Windverband erhalten. Da sie die Bogen überschneidet und an den Ueberkreuzungsstellen fest mit ihnen verbunden werden mußte, so war es nöthig, eine Aenderung der Lage dieser Bogenpunkte gegen die Fahrbahn, wie sie durch die elastischen Verbiegungen der Bogen bei Wärmeschwankungen, unter der Einwirkung der Verkehrslast usw. veranlasst wird, zu verhindern, und deshalb wurden die beiden Ueberkreuzungsstellen jedes Bogens durch ein Zugband, das zugleich als Gurtung für den Windverband der Fahrbahn dient, mit einander verbunden. Das Zugband hätte sich vermeiden lassen, wenn die Fahrbahn aus drei Theilen hergestellt und der mittlere Fahrbahntheil gegen die äußeren verschiebbar angeordnet worden wäre. Es wurde indessen für rathsam gehalten, die Fahrbahn ungetheilt durchgehen zu lassen und fest mit den Bogen zu verbinden und alle inneren beweglichen Theile zu vermeiden. Eine geringe Verschiebung der Ueberkreuzungsstellen des Bogens mit der Fahrbahn gegen diese findet freilich infolge der Längenänderungen des Zugbandes durch seine Beanspruchung statt. Um die Querträger in solchen Fällen vor seitlichen Verbiegungen durch die Längsträger zu sichern, sind diese, wie oben bereits angegeben worden ist, mit dem einen Ende beweglich an die Querträger angeschlossen. Das Zugband ist, wie hier vorweg bemerkt werden soll, bei der Aufstellung der Brücke erst mit den Bogen vernietet worden, als der im übrigen vollständig fertig

gestellte Ueberbau bereits auf seinen Auflagern ruhte, Spannungen aus dem Eigengewicht der Brücke haben die beiden Zugbänder der Brücke also nicht erhalten. Die Eisenmengen, die in den Zugbändern enthalten sind, kommen übrigens den beiden Hauptträgern theilweise zu gute. Die Zugbänder vermindern nämlich die Beanspruchungen der Bogen durch die Verkehrslast, andererseits erhöhen sie die durch die Wärmeschwankungen in den Bogen erzeugten Spannungen. Da diese aber nicht so bedeutend sind wie die Beanspruchungen der Bogen durch die Verkehrslast, so wirken die Zugbänder auf eine Verminderung des Gewichts der Bogen hin.

Der Windverband der Fahrbahn besteht aus einem mittleren Theil und zwei Endtheilen. Der mittlere Theil hat dieselbe Länge wie die Zugbänder, er reicht also von dem in der Abb. 1 auf Bl. 42 u. 43 mit 15 bezeichneten Knotenpunkt bis zu dem entsprechenden, in der anderen Bogenhälfte gelegenen Punkte. Die beiden Zugbänder bilden die Gurte dieses Theiles des Windverbandes der Fahrbahn, das Gitter-

Pfeilermauerwerk aufgestelltes Lager ein, das Bewegungen in der Längsrichtung der Brücke zulässt, aber Bewegungen quer zur Längsachse verhindert. Der Windverband der Fahrbahn ist durchweg ohne Rücksicht darauf berechnet, dass infolge der Steifigkeit der die Fahrbahn mit den Bogenträgern verbindenden Bauglieder ein Theil des auf die Fahrbahn ein-



Abb. 270. Windverband der Fahrbahn-Endtheile.

wirkenden Winddruckes an jeder Unterstützungsstelle auf die Bogen übertragen wird.

Zwischen den beiden Bogenträgern wurden, wo immer es angänglich war, Querverbände angeordnet. In dem über der Fahrbahn liegenden Theil der Bogen war das wegen des für den Eisenbahn- und den Fuhrwerksverkehr freizuhaltenden

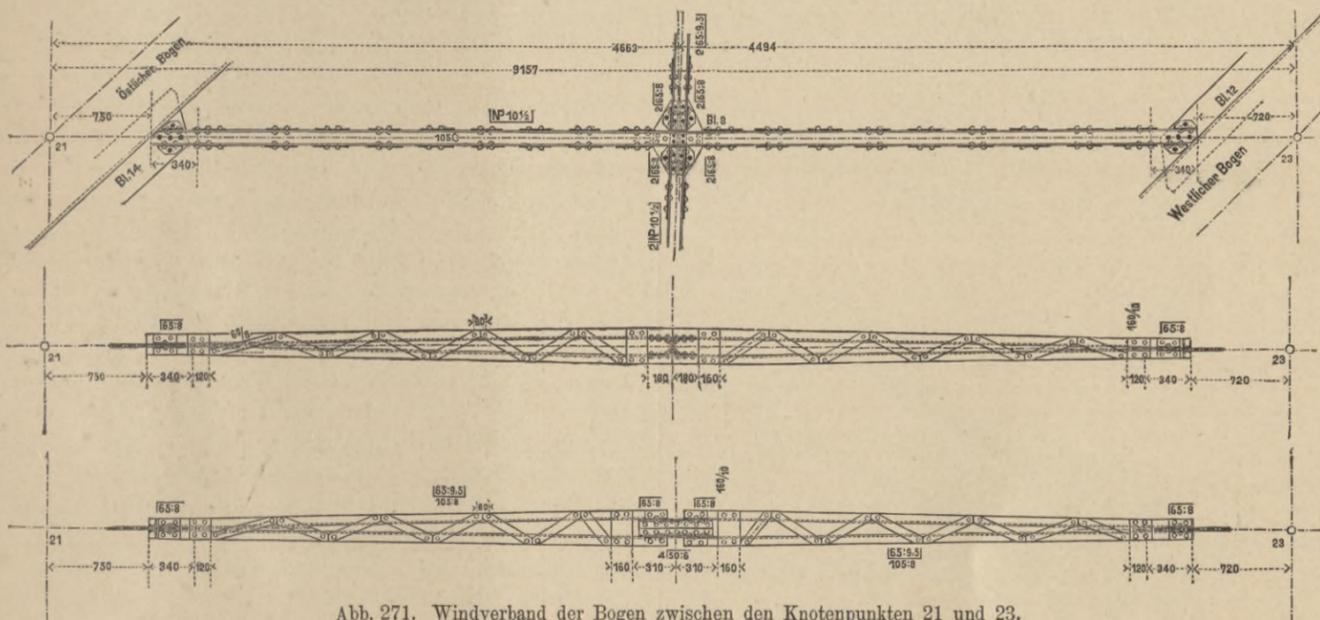


Abb. 271. Windverband der Bogen zwischen den Knotenpunkten 21 und 23.

werk wird durch die Querträger als Pfosten und durch gekreuzte, aus  $\text{UEisen}$  bestehende und an der Ueberkreuzungsstelle miteinander vernietete Schrägstreben gebildet. Die  $\text{UEisen}$  sind mit den Längsträgern der Brückenfahrbahn derartig in Verbindung gebracht, dass sich die beiden Theile zwar unabhängig von einander verschieben, die  $\text{UEisen}$  sich aber weder nach oben noch nach unten durchbiegen können. Der auf den mittleren Theil der Fahrbahn entfallende Winddruck wird an den Punkten 15 in ganzer Größe auf die Bogen übertragen. Die beiden Endtheile des Windverbandes der Fahrbahn übertragen die auf sie einwirkenden Kräfte theils auf das Widerlagermauerwerk, theils auf die Bogen. Als Gurte dieser Theile dienen zwei Längsträger, deren Querschnitt dem der Zugbänder nachgebildet ist. Diese Längsträger schließen zwischen den Knotenpunkten 11 und 13 an die obere Gurtung der Bogenträger an. Um die in diesen Trägern einerseits und den Zugbändern andererseits unter der Einwirkung von Windkräften entstehenden Spannungen möglichst von den Bogen fern zu halten, sind die Anschlussstellen der beiderseitigen Windverband-Gurtungen durch im Innern der Bogen angeordnete Gitterstäbe mit einander verbunden. Auch in den Endtheilen des Fahrbahn-Windverbandes sind die Schrägstreben aus einfachen  $\text{UEisen}$  gebildet. Das den Widerlagern zugekehrte Ende der Windträger ist, wie aus der Text-Abb. 270 zu ersehen ist, zu einem Schnabel zusammengezogen. Dieser Schnabel greift in ein auf dem

Raumes nur zwischen den Knotenpunkten 19 der Fall. Diese Querverbände haben die aus den Abb. 8 bis 10 Bl. 42 u. 43 zu ersiehende Anordnung erhalten. Bei Knotenpunkt 19 müssen die Kräfte, die in dem zwischen die Obergurte der Bogen eingebauten Windverbände entstehen können, auf den Windverband der Fahrbahn übertragen werden. Der dortige Querverband ist dementsprechend mit den beiden Bogen, insbesondere deren Pfosten, mit den Hängesäulen, mit denen der Querträger 19 an die Bogen-Untergurte angehängt ist, und mit dem Querträger selbst zu einem steifen Rahmen verbunden. Die Ausbildung dieses Rahmens zeigt die Abb. 8 Bl. 42 u. 43. Bei den Knotenpunkten 15 und 17 fehlt der Querverband, bei 13 und den nach den Brückenwiderlagern zu folgenden Knotenpunkten sind jedoch wieder Querverbände vorhanden. Die Abb. 3 bis 5 Bl. 42 u. 43 zeigen die Ausbildung derselben. In der Nähe der Brückenaufleger wurde von der Einschaltung eines Querverbandes zwischen die beiden Bogen Abstand genommen, weil dieser Querverband bei Wärmeschwankungen Druck- oder Zugkräfte auf die beiden Bogenträger ausüben würde, die wegen ihres dicht an den Auflagern erfolgenden Angriffes ungünstig auf die Bogen einwirken müßten. Dagegen ist zwischen die Pfosten, die sich hier auf die Bogen-Obergurte stützen und den Querträger 1 der Fahrbahn tragen, ein Strebenkreuz eingebaut, das seitlichen Bewegungen der Fahrbahn entgegenwirken soll und in Abb. 2 Bl. 42 u. 43 dargestellt ist.



Satze durchgeführt: „In einem im Gleichgewicht befindlichen elastischen Systeme treten diejenigen Spannungen auf, welche dessen gesamte Formänderungsarbeit zu einem kleinsten machen“. Da für diese Berechnung die Querschnitte der einzelnen Bogenstäbe bekannt sein mußten, war es erforderlich, zunächst durch angenäherte Rechnungen die ungefähr der Wirklichkeit entsprechenden Spannungen und daraus die erforderlichen Querschnitte zu bestimmen. Deshalb wurden die Spannungen zunächst für einen Bogen mit drei Gelenken berechnet, wobei das doppelte Schrägstrebensystem in zwei einfache zerlegt wurde, und das Mittelgelenk für das eine System im Obergurt, für das andere im Untergurt angenommen wurde. Nachdem den Spannungen für Verkehrslast und Eigengewicht noch die durch Winddruck erzeugten zugezählt und danach die Querschnitte festgestellt waren wurden die infolge von Wärmeänderungen in dem mit dem ermittelten Querschnitte versehenen Zweigelenkbogen entstehenden Spannungen ermittelt und danach die Querschnitte vergrößert. Die so ermittelten Querschnitte wurden einer ersten, nach der Elasticitätslehre durchgeführten Berechnung zu Grunde gelegt. Diese Berechnung erfolgte, um die Anzahl der Unbekannten zu vermindern und damit die immerhin noch ziemlich umständliche Rechnung nach Möglichkeit zu erleichtern, ohne Berücksichtigung der Längenänderungen der Gitterstäbe. Nachdem die Querschnitte der Gurtstäbe nach den Ergebnissen dieser Berechnung verbessert waren, wurde eine zweite Berechnung durchgeführt, und zwar nunmehr mit Berücksichtigung der Längenänderungen der Schrägstreben. Diese zweite Berechnung ergab, daß die nach der ersten Berechnung festgestellten Querschnitte nicht wesentlich geändert zu werden brauchten, und deshalb wurde von der Durchführung einer dritten Berechnung Abstand genommen, besonders auch in Rücksicht darauf, daß die infolge kleiner Abweichungen von den richtigen Querschnittsabmessungen in der Berechnung sich ergebende Ungenauigkeit den Fehlern gegenüber ganz verschwindend ist, die durch die nothwendigen, vereinfachenden Annahmen entstehen.

Berechnet wurden die Spannungen in den einzelnen Bogenstäben für

- 1) die Verkehrslast,
- 2) das Eigengewicht,
- 3) Winddruck von 150 kg auf das qm der belasteten und 250 kg auf das qm der unbelasteten Brücke,
- 4) Wärmeschwankungen zwischen 40° Celsius über und unter der mittleren Wärme von + 10° Celsius,
- 5) ein etwaiges Nachgeben jedes der beiden Widerlager um 2 cm in der Wagerechten vor Vernietung des Zugbandes und um 0,8 cm unter der Einwirkung der Verkehrslast.

Die geneigte Lage der Bogen konnte unberücksichtigt gelassen werden, weil sie nur eine ganz geringfügige Vermehrung der Spannungen herbeiführt. Die Pfosten des Bogen-Gitterwerks wurden bei der Berechnung des wagerechten Schubes als nicht vorhanden angesehen, da sonst die Rechnung fast bis zur Undurchführbarkeit erschwert worden wäre. Unter Vernachlässigung der Pfosten ist, wenn die Spannungen in den Gurten und Schrägstreben unter Zerlegung des doppelten Systems in zwei einfache ermittelt werden, nur mit zwei Unbekannten, dem wagerechten Schube des Bogens und der Spannung im Zugbande, zu rechnen. Wenn die Pfosten berücksichtigt werden sollten, so würden hierzu noch weitere 21 Unbekannte treten. Bei der späteren Bestimmung der Querschnitte der Schrägstreben wurde die Einwirkung der Pfosten auf die Vermehrung der Druckspannungen in den Schrägstreben jedoch nicht außer acht gelassen.

Wenn der wagerechte Schub des Bogens mit  $H$ , die Spannung im Zugbande mit  $H_1$  bezeichnet wird, wenn ferner bedeutet:

$\mathcal{S}$  die Spannung in einem Stabe des Bogens, die unter der Einwirkung einer bestimmten lothrechten Belastung des Bogens entsteht, sofern  $H$  und  $H_1$  gleich Null sind, also für den wagerecht verschiebbaren, gewichtslosen Bogenträger d. h. einen Balken auf zwei Endstützen,

$\mu$  die Spannung desselben Stabes, wenn der Bogenträger gewichtslos und unbelastet ist, aber einen wagerechten Schub  $H = 1$  erhält,

$\mu_1$  die Spannung wie vor, aber für eine Spannung im Zugbande  $H_1 = 1$ ,

dann ist die Spannung des betrachteten Stabes unter der gleichzeitigen Einwirkung der lothrechten Belastung und der Kräfte  $H$  und  $H_1$ , also bei dem eingespannten Bogen mit Zugband:

$$1. \quad S = \mathcal{S} + \mu \cdot H + \mu_1 \cdot H_1$$

und die bei der Längenänderung des fraglichen Stabes verrichtete Formänderungsarbeit, wenn  $s$  die Länge des Stabes,  $f$  den Querschnitt und  $E$  den Elasticitätsmodul des zum Stabe verwandten Baustoffes bezeichnet:

$$a = \frac{1}{2} \frac{S^2 \cdot s}{E \cdot f}$$

Wenn  $l_1$  die Länge,  $q$  den Querschnitt und  $E$  den Elasticitätsmodul des Zugbandes bezeichnet, dann ist die Formänderungsarbeit des Zugbandes:

$$a_1 = \frac{1}{2} \frac{H_1^2 \cdot l_1}{E \cdot q}$$

und, da der wagerechte Bogenschub  $H$  wegen der Unveränderlichkeit der Widerlager keine Arbeit verrichtet, die gesamte Formänderungsarbeit der sämtlichen Stäbe des Bogenträgers einschließlich des Zugbandes:

$$2. \quad A = \frac{1}{2E} \left( \sum \frac{S^2 \cdot s}{f} + \frac{H_1^2 \cdot l_1}{q} \right),$$

wenn der zu dem Zugbande und den Stäben des Bogens verwandte Baustoff den gleichen Elasticitätsmodul hat.

$A$  muß nun nach dem Castiglionschen Satze ein kleinstes sein, es muß infolge dessen sein:

$$3. \quad \frac{dA}{dH} = \frac{1}{E} \sum \frac{S \cdot dS}{dH} \cdot \frac{s}{f} = 0 \text{ und}$$

$$4. \quad \frac{dA}{dH_1} = \frac{1}{E} \left[ \sum \frac{S \cdot dS}{dH_1} \cdot \frac{s}{f} + \frac{H_1 \cdot l_1}{q} \right] = 0.$$

Nach der Gleichung 1 ist

$$5. \quad \frac{dS}{dH} = \mu \text{ und } \frac{dS}{dH_1} = \mu_1,$$

werden in Gleichung 3 und 4 die Werthe von  $S$  aus Gleichung 1 eingesetzt, dann ergibt sich, daß

$$\frac{1}{E} \sum \frac{s}{f} (\mathcal{S} + \mu \cdot H + \mu_1 \cdot H_1) \cdot \mu = 0 \text{ und}$$

$$\frac{1}{E} \left[ \sum \frac{s}{f} (\mathcal{S} + \mu \cdot H + \mu_1 \cdot H_1) \cdot \mu_1 + \frac{H_1 \cdot l_1}{q} \right] = 0$$

sein muß, oder

$$6. \quad \sum \mathcal{S} \cdot \mu \cdot \frac{s}{f} + H \sum \mu^2 \cdot \frac{s}{f} + H_1 \sum \mu \cdot \mu_1 \cdot \frac{s}{f} = 0 \text{ und}$$

$$7. \quad \sum \mathcal{S} \cdot \mu_1 \cdot \frac{s}{f} + H \sum \mu \cdot \mu_1 \cdot \frac{s}{f} + H_1 \left( \sum \mu_1^2 \cdot \frac{s}{f} + \frac{l_1}{q} \right) = 0.$$

Wird zur Vereinfachung gesetzt:

$$\sum \mathcal{S} \cdot \mu \cdot \frac{s}{f} = A; \quad \sum \mu^2 \cdot \frac{s}{f} = B; \quad \sum \mu \cdot \mu_1 \cdot \frac{s}{f} = C;$$

$$\sum \mathcal{S} \cdot \mu_1 \cdot \frac{s}{f} = D; \quad \sum \mu_1^2 \cdot \frac{s}{f} + \frac{l_1}{q} = F,$$

dann gehen die Gleichungen 6 und 7 über in:

$$A + B \cdot H + C \cdot H_1 = 0 \text{ und}$$

$$D + C \cdot H + F \cdot H_1 = 0, \text{ und daraus ergibt sich:}$$

$$H = \frac{A \cdot F - C \cdot D^2}{C^2 - B \cdot F}; \quad H_1 = \frac{B \cdot D - C \cdot A}{C^2 - B \cdot F}$$

Aus diesen beiden Gleichungen lassen sich die beiden Unbekannten des statisch unbestimmten Stabsystemes für jede beliebige lothrechte Belastung berechnen, wenn vorher die diesem Belastungszustande entsprechenden Werthe von  $\mathcal{C}$  wie für einen Balken auf zwei Stützen mit wagerechter Auflagerung bestimmt und  $\mu$  und  $\mu_1$  bekannt sind.

Auf die weitere Durchführung der Berechnung der Bogensträger soll nicht näher eingegangen werden, sie erfolgte theils auf zeichnerischem, theils auf rechnerischem Wege. Namentlich wurden die Spannungen in den Bogenstäben für eine wagerechte und eine lothrechte Seitenkraft des Auflagerdrucks sowie die Stabspannungen für Eigengewicht und Winddruck zeichnerisch ermittelt. Jedoch wurden die Ergebnisse stets durch Berechnung einzelner Stabspannungen nachgeprüft.

Die Widerlager. Wie bereits oben angegeben worden ist, herrschte bei dem Entwurf der Grünenthaler Brücke das Bestreben, dem Bauwerk eine monumentale Wirkung zu geben. Dementsprechend sind auch die Widerlager unter Aufwendung größerer Mittel und reicherer Gliederung theils aus Granitwerksteinen, theils aus Ziegelsteinen unter Verwendung von guten Verblendsteinen für die Ansichtsflächen gebildet. Die

böschung, erscheint dem Beschauer, entsprechend seiner Bedeutung als Auflager der eisernen Bogen, als einziger Pfeiler des Widerlagers und nimmt mit seinen kräftig gestalteten Thürmen, die in ihrer Krone den Scheitel der Bogen noch um rund 7,5 m überragen, den herrschenden Platz im Gesamtbilde der Brücke ein. Der in die Dammböschung hineinreichende Theil der Widerlager besteht aus zwei Pfeilern, die durch Gewölbe mit einander verbunden sind, erscheint aber äußerlich als volle Mauer. Die Breite der Widerlager beträgt am hinteren Ende rund 19,20 m, die auf dem eisernen Ueberbau gemeinsamen Fahrbahnen der Eisenbahn und der Wege konnten infolge dessen bereits auf den Widerlagern auseinander geführt werden, wodurch die ohnehin lästige gemeinsame Fahrbahnstrecke möglichst verkürzt wurde.

Die Fahrbahn auf den Widerlagern ist mit schwedischen Reihenpflastersteinen gepflastert, die erhöhten Fußwege sind mit Solinger Sandsteinplatten von 8 bis 10 cm Stärke abgedeckt, zu den Bordschwellen ist jedoch Granit verwandt worden. Die drei Pfeiler jedes Widerlagers bestehen je aus zwei Theilen, die durch Gurtbogen mit einander verbunden sind.

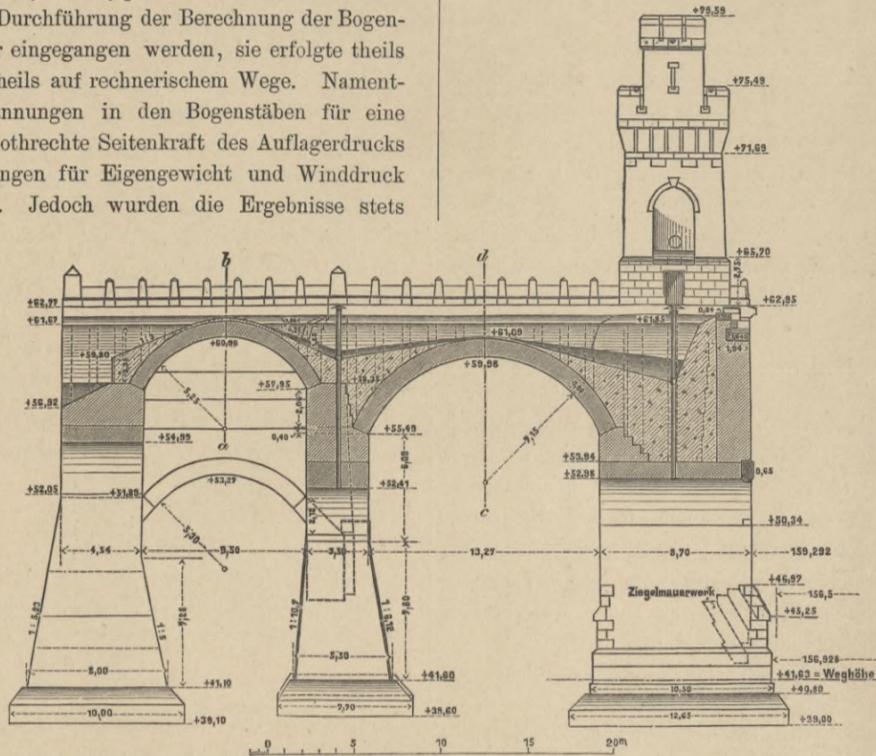


Abb. 276. Längenschnitt durch ein Widerlager.

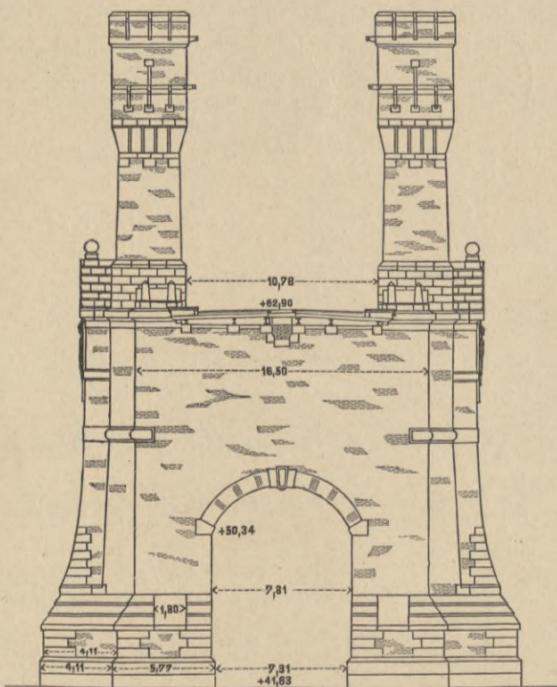
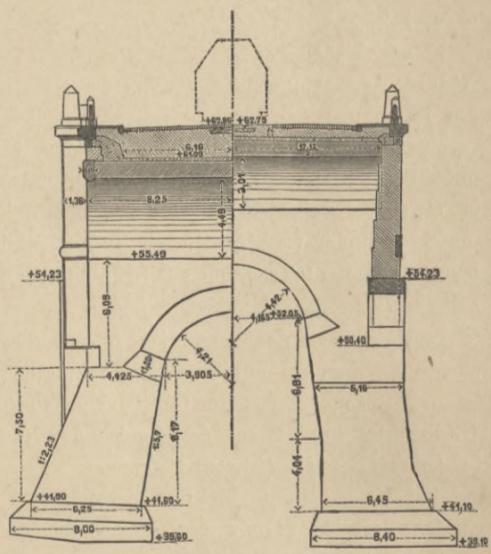


Abb. 277.

Ansicht des Widerlagers von der Canalseite aus gesehen.

Architektur der Widerlager ist von dem damaligen Regierungsbaurath, jetzigen Geheimen Ober-Baurath Eggert im Ministerium der öffentlichen Arbeiten in Berlin entworfen. Die Gesamtlänge jedes Widerlagers beträgt rund 39,50 m, sie ist so groß geworden, weil der Fuß des Böschungskegels um 3 m hinter die Hinterkante des vorderen Widerlagerpfeilers zurücktritt. Dieser Pfeiler steht frei außerhalb der Damm-



Querschnitt *cd.* Abb. 278. Querschnitt *ab.* (vgl. Abb. 276.)

Oberhalb der Gurtbogen ist zwischen den vorderen und den mittleren Pfeiler ein 13,27 m weites und zwischen Mittel- und Hinterpfeiler ein 9,50 m weites Gewölbe gespannt. Die Nebenöffnung ist indessen durch eine Schildmauer verdeckt, da der Erdkegel sonst die Oeffnung in einer sehr unschön wirkenden Linie durchschnitten haben würde. Diese Schildmauern reichen nicht bis zum Fuß der Pfeiler, sondern sie

stützen sich unterhalb der Böschungen auf je einen zwischen Mittel- und Endpfeiler eingewölbten Bogen. Aus den Text-Abb. 276 bis 278 sind die Einzelheiten der Widerlager zu ersehen.

Die Hauptpfeiler, deren äußere Fronten durch vier unter dem Hauptgesims angebrachte, in großen Verhältnissen entworfene Wappenschilde noch besonders geschmückt sind, wurden der ihnen zufallenden Aufgabe entsprechend kräftig gestaltet. Sie erhielten auch unter Ausschluss von inneren Hohlräumen möglichst viel Masse, damit die ungleichmäßige Beanspruchung des Baugrundes, die des bedeutenden Wechsels des Bogenschubes wegen nicht ganz vermieden werden konnte, innerhalb möglichst enger Grenzen blieb.

Die Stärken der Pfeiler und Gewölbe sind auf zeichnerischem Wege ermittelt worden. Dabei wurden die Grundflächen der Pfeiler so gewählt, daß die Beanspruchung des Baugrundes auch unter den ungünstigsten Belastungsannahmen nicht über 5 kg für das qcm hinausgeht, zumeist aber nur 3,5 kg beträgt. Daß eine solche Belastung des Baugrundes zulässig ist, war durch Versuche festgestellt worden. Da die oberen Bodenschichten eine wagerechte Lagerung zeigten und ihre Tragfähigkeit in den verschiedenen Höhenlagen dieselbe blieb, so bot eine tiefere Hinabführung der Widerlager keinen Vortheil. Die Hauptpfeiler wurden daher 2,63 m, die zum größten Theil in den Böschungskegeln steckenden Mittel- und Endpfeiler 2 m unter der Geländeoberfläche gegründet. In den Gurtbögen und Gewölben sind Pressungen bis zu 25 kg zugelassen, unter den Werksteinen, gegen die sich die Bogen stützen, erhält das Mauerwerk Druckbeanspruchungen bis zu 16 kg. Zu den stark geprefsten Mauerwerktheilen wurden durchweg Hartbrandsteine von vorzüglicher Beschaffenheit verwandt.

Die Ansichtsflächen der Widerlager sind, soweit sie keine Quaderverblendung erhalten haben, mit Ziegelsteinen von kräftigrother Farbe, deren frischer Ton sich vortheilhaft gegen die helleren Farben der Quader abhebt, verblendet; alle zu den Brüstungen, Gesimsen und Bekrönungen verwandten Quader entstammen den Brüchen der Blauberger Granitwerke in Bayern. Die Farbe und die äußere Behandlung der Quader wechselt mit der zunehmenden Höhe des Bauwerks. Der Sockel besteht aus grobkörnigem, rauh gestocktem Granit von grau-gelber Farbe, darauf folgen grobkörnige dunkelblaue Werksteine. In Höhe der Fahrbahn und in den höher gelegenen Theilen ist der Granit von hellblauer Farbe, feinkörnig und auch fein gestockt. Die Wappenschilde sind aus Oberkirchener Sandstein hergestellt. Sie sind 2,10 m breit und 4,33 m hoch und bestehen je aus drei Platten von 70 bis 85 cm Stärke. Die Bildhauerarbeiten der Wappen wurden auf der Baustelle ausgeführt. Sodann wurden die einzelnen Platten in einer im Pfeiler ausgesparten Nische ohne weitere Verbindung auf einander gesetzt, sie stehen in der Nische frei und ohne jede Verbindung mit dem Mauerwerk. Bewegungen und Setzungen im Mauerwerk können sich daher auf das Wappenschild nicht übertragen. Die Last der unmittelbar über den Schilden befindlichen Quader wird durch eiserne Zwillingsträger, die in einem in der Unteransicht der Quader ausgearbeiteten Schlitz liegen, aufgenommen und auf das seitliche Mauerwerk übertragen.

Die unter der Bodenhöhe befindlichen Mauerwerktheile der Widerlager bestehen aus Beton von der Zusammensetzung 1 Cement,  $3\frac{1}{2}$  Sand und 6 Granitsteinschlag, der fest eingestampft worden ist. Im übrigen sind die Widerlager abgesehen von den Werksteinen und den Ausfüllungen der großen inneren Hohlräume aus Ziegelmauerwerk in Cementmörtel von der Mischung 1:3 hergestellt. Diese Hohlräume lagen im wesentlichen über den Gewölben, sie wurden mit

einem, aus 1 Theil Cement und 9 Theilen Sand bestehenden Beton ausgefüllt, unter den Thürmen wurde die Mischung jedoch zu 1:7 genommen, damit sie bei dem schnellen Aufbau der Thürme eine ausreichend sichere Unterlage bot. Die über den Gewölben ansteigenden Stirn- und Verblendmauern bestehen ebenfalls zum großen Theil aus Sandbeton von der Mischung 1:9. Die äußere Haut dieser Mauern besitzt theilweise nur eine Stärke von zwei Steinen, zur besseren Verbindung zwischen dem Ziegelmauerwerk und dem Sandbeton greifen jedoch eine große Anzahl mit der Außenmauer im Verbande aufgemauerter Strebpfeiler in den Betonkörper ein. Ein Theil der Mauern ist jedoch in größerer Stärke als zwei Stein aus Ziegeln hergestellt, z. B. die nach dem Canal zu gelegene Stirnmauer des Hauptpfeilers der Widerlager. Die Oberfläche des Sandbetons hat eine wasserdichte Schutzdecke aus Asphaltplatten, die von Büsscher u. Hoffmann in Eberswalde bezogen wurden, erhalten. Im übrigen ist der über dem Sandbeton verbleibende Raum bis zur Fahrbahn mit wasserdurchlässigem Sande ausgefüllt. Das auf dem Asphaltbelag sich ansammelnde Wasser fließt durch gußeiserne Muffenrohre, die senkrecht durch die Scheitel der die beiden Theile jedes Pfeilers verbindenden Gurtbögen hindurchgehen, ins freie ab. Die Rohre sind bis zur Fahrbahnhöhe verlängert, sodaß sie bei Reinigungen ein bequemes Durchstoßen gestatten.

Die Bauausführung. Mit der Herstellung der Dämme wurde im Frühjahr 1889 begonnen. Zu den Dammschüttungen wurden vorzugsweise die bei dem Canalaushub gewonnenen sandigen Bodenmassen verwandt. Da indes die sandigen Schichten größtentheils mit Mergel stark durchsetzt waren und es bei dem großen Erdarbeits-Betriebe ausgeschlossen war, den Mergel ganz auszusondern oder ihn so einzubauen, wie es für die Haltbarkeit des Dammes am zweckmäßigsten gewesen wäre, waren Abrutschungen in den Böschungen nicht überall zu vermeiden. Solche sind denn auch in größerer Zahl vorgekommen, sie haben jedoch nirgendwo einen größeren Umfang angenommen. Die größte abgerutschte Bodenmenge hat rund 5000 cbm betragen, und die Dämme haben sich, nachdem an Stelle der abgerutschten Massen reiner Sand und Kiesboden eingebaut worden war, als durchaus standfest erwiesen. Die Anschüttung der Dämme erfolgte mit Erdzügen, die aus 30 Wagen mit einem Inhalt von je 3 cbm gewachsenen Bodens gebildet waren und bis zu Steigungen von 1:70 von zwei Locomotiven von je 120 ind. Pferdekräften und je 16,6 t Dienstgewicht gezogen werden konnten.

Die kleineren Durchlässe wurden so zeitig hergestellt, daß sie die Dammschüttungen in keiner Weise behinderten, dagegen konnte mit der Ausführung des Gieselau-Durchlasses erst im Juni 1890 begonnen werden, weil die Festsetzung des endgültigen Entwurfs bei der bereits oben dargelegten Schwierigkeit der Verhältnisse längere Zeit erfordert hatte. Als der Durchlaß fertig gestellt war und Ende August 1891 die Dammschüttung die Höhe von 15 m über dem Scheitel desselben erreicht hatte, wurde zuerst eine merkbare Setzung des Bauwerks festgestellt. Die Setzung nahm mit dem weiteren Fortschritt der Erdarbeiten zu und betrug bei der Beendigung der Dammschüttung in den mittleren Bauwerktheilen 11 cm, an den Stirnen 2 bis 2,5 cm. So lange der frisch angeschüttete Damm sich noch senkte, gingen auch die Bewegungen des Durchlasses noch weiter, sie verringerten sich jedoch allmählich. Etwa ein halbes Jahr nach der Fertigstellung des Dammes wurde festgestellt, daß in der Mitte des Bauwerks eine Gesamtsenkung bis zu 15,5 cm, an den Stirnen bis zu 3,5 cm stattgefunden hatte. Die nördlichen Bauwerktheile hatten sich entsprechend dem größeren, auf sie ein-

wirkenden Erddruck um 1,5 bis 2,5 cm mehr gesenkt als die südlichen. Ziemlich rasch nach Beginn der Setzungen zeigten sich auch Risse in der inneren Leibung, und zwar zunächst je im Drittel des mittelsten Bauwerktheiles, bald darauf aber auch in den Seitentheilen. Die letzteren Risse waren ziemlich fein, zum größten Theil nur Haarrisse, und erweiterten sich auch nicht, während die beiden mittleren Risse allmählich bis 3 cm breit wurden. Sämtliche Risse verliefen senkrecht zur Längsachse des Durchlasses und traten in den beiden Oeffnungen gleichmäßig auf; Längsrisse sind nicht beobachtet worden. Die bei der Ausführung des Mauerwerks offen gelassenen Fugen zwischen den einzelnen Bauwerktheilen haben sich in der Mitte durchgehend um 1 bis 2 cm erweitert, während die Bewegungen an den Enden kleiner waren. Einige Monate nach Beendigung der Schüttung kam der Durchlaß zur Ruhe, nach Ablauf eines Jahres wurden sämtliche Fugen mit Cement vergossen, und seitdem sind neue Fugen nicht entstanden.

Einen ernstlichen Schaden als durch diese ganz bedeutungslosen Risse erfuhr der Durchlaß durch die Loslösung des oberen Theils der nördlichen Stirnwand, die bei den letzten Schüttungsarbeiten eintrat. Zunächst entstand ein Rifs von 3 cm größter Stärke in der inneren Gewölbeleibung, und zwar am Anschluß der aus Quadern hergestellten Stirnverkleidung an das

Ziegelgewölbe. Der Rifs war im Scheitel am größten, verlief nach dem Mittelpfeiler hin nur bis zur Kämpferhöhe, war jedoch in beiden Seitenmauern bis zur Durchlaßsohle zu verfolgen. Die Weite des Risses erweiterte sich in kurzer Zeit bis auf 11 cm, die Stirnwand wich immer mehr aus dem Loth und zeigte bald auch ihrerseits einige Risse, und schließlich löste sich der Gewölbekämpfer von der Stirnwand. Deshalb wurde die gefährdete Stirn durch einige, in das Gewölbe gestellte Lehrbögen sowie durch kräftige Holzstreben sicher abgestützt und zunächst abgewartet, bis die Bewegungen im Bauwerk zur Ruhe gekommen waren. Als dies im Herbst 1892 der Fall war, wurde die Stirn von neuem hergestellt, indem das Mauerwerk bis zu den Rissen abgetragen und im Loth wieder aufgeführt wurde. Seitdem sind weitere Schäden an dem Bauwerk, das unter so ungünstigen Verhältnissen hergestellt werden mußte und seiner eigenartigen Ausbildung wegen nur verhältnismäßig geringe Geldmittel erfordert hat, nicht eingetreten, es genügt vielmehr allen Anforderungen.

Die Vergebung der Arbeiten für den Ueberbau und die Widerlager der Hochbrücke erfolgte ungefähr gleichzeitig im Winter 1890/91, nachdem der Entwurf festgestellt und sowohl von der Landespolizeibehörde wie von der preussischen

Eisenbahnverwaltung als Eigenthümerin der Westholsteinischen Eisenbahn genehmigt worden war. Der Ueberbau wurde der Brückenbauanstalt Gustavsburg bei Mainz, einer Filiale der Maschinenbau-Aktiengesellschaft „Nürnberg“ in Nürnberg auf Grund eines im öffentlichen Verdingungsverfahren abgegebenen Mindestangebotes, die Herstellung der Widerlager dem Unternehmer des Erdarbeiten-Loses Nr. VI einschließlic der Lieferung der erforderlichen Baustoffe freihändig übertragen.

Mit den Ausschachtungsarbeiten für die Gründung der Widerlager wurde Anfang Mai 1891 begonnen, Ende Juli des nächsten Jahres waren die Maurerarbeiten vollendet und Ende September auch sämtliche Rüstungen von den Widerlagern entfernt.

Die Anfuhr der zum Brückenbau erforderlichen Baustoffe wurde dadurch sehr erleichtert, daß die Westholsteinische Eisenbahn etwa 1 km von der Baustelle entfernt eine Halte-

stelle angelegt hatte, die mit dieser durch Arbeitsgleise verbunden war. Auf der Haltestelle war ein Krahn von 9 t Tragfähigkeit aufgestellt, der imstande war, die schwersten zu den Widerlagern verwandten Quader zu heben. Dies waren die aus einem Stück hergestellten Auflagersteine der Bogen, die bei 3 cbm Inhalt das oben angegebene Gewicht nahezu erreichten und je die Ladung eines gewöhnlichen Eisenbahnwagens ausmachten. Die schwersten Theile des Ueberbaues, die Bogenanfangs-

stücke, überschritten das Gewicht von 7,5 t nicht, die übrigen Theile wogen nur bis zu 5 t. Die Anlage der Lagerplätze und der Gleise ist aus der Text-Abb. 279 zu ersehen. Danach beschränkte sich die Brückenbauanstalt auf das im Canalschnitt gelegene, durch Ausschachtung auf die Höhe + 32,8 gebrachte Gelände, während der Unternehmer der Maurerarbeiten die außerhalb des zukünftigen Canals liegenden Flächen in Benutzung nahm.

Zum Versetzen der zahlreichen schweren Werksteine am Unterbau der Hauptpfeiler wurden Gerüste aufgestellt, die einem aus zwei verdübelten und armirten Holzträgern gebildeten, mit einer Laufkatze versehenen Krahnwagen als Unterstützung dienten. Für den weiteren Aufbau der Widerlager wurden leichtere Gerüste nach Bedürfnis aufgestellt, die End- und Mittelpfeiler jedoch ohne Gerüste bis zur Höhe der Gurtbogenkämpfer aufgemauert. Die Hauptgesims- und die Brüstungsquader sowie sämtliche Werksteine für die Thurm-aufbauten wurden mit den Erdförderzügen, die im Juli 1892 zur Beförderung der letzten Bodenmengen nach beiden Zweigen der Eisenbahnverlegung über die schon soweit fertig gestellten Ueberbauten fuhren, auf die Fahrbahn der beiden Widerlager gebracht und von dort an ihre Verwendungsstelle geschafft. Für die Thürme wurden dabei kleinere Versetzgerüste hergestellt.

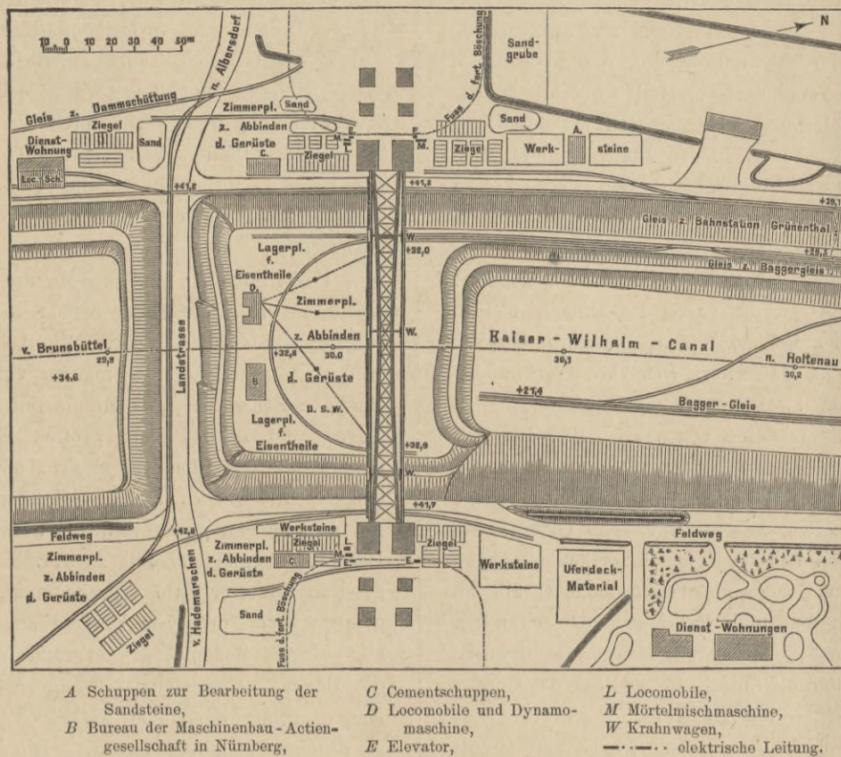


Abb. 279. Lageplan der Brückenbaustelle bei Grünenthal.

Der zu dem Mauerwerk verwandte Mörtel wurde in geneigt stehenden Trommeln trocken gemischt und so mittels Hebewerken, die von der Maschinenbauanstalt von Gauhe, Gockel und Co. in Oberlahnstein a/Rhein bezogen waren, auf die gegen Schluss der Arbeiten sehr bedeutenden Arbeitshöhen gefördert. An jedem Widerlager waren zwei Hebewerke aufgestellt, die von einer sechspferdigen, für die erforderliche Leistung etwas zu schwach gewählten Maschine in Bewegung gesetzt wurden. Jedes Hebewerk konnte bei zehnstündiger Arbeitszeit gleichzeitig bis 15 000 Ziegelsteine und 7,5 cbm Mörtel fördern. Das Wasser wurde dem Mörtel erst auf der Verwendungsstelle, wo es aus einer auch den Zwecken des Erdarbeitenbetriebes dienenden Leitung entnommen wurde, zugesetzt.

Die beiden Widerlager enthalten zusammen in abgerundeten Zahlen: 2100 cbm Steinschlagbeton, 11100 cbm Ziegel- und Klinkermauerwerk, 1140 cbm Werksteine und 2550 cbm Sandbeton. Die Kosten der Widerlager haben rund 900 000 *M* betragen. Die Arbeiten zur Herstellung des Ueberbaues der

wurde von einer zwölfpferdigen Locomobile, die auf dem Lagerplatze aufgestellt war und auch noch vier Bogenlampen mit Strom versorgte, hergestellt.

Die Aufstellung des Ueberbaues begann mit dem Verlegen der unteren Gurtungen beider Bogen, die sich an den Brücken-Enden auf das Gerüst stützten, im mittleren Theil der Brücke aber von den vorher verlegten Querträgern und den zugehörigen Hängestäben getragen wurden. Nachdem die unteren Gurtungen in der vollen Länge zusammengesetzt waren, wurden zunächst die Wandglieder eingebaut, dann die oberen Gurtungen verlegt und hierauf die Querversteifungen und die Windverbände der Bogen eingebracht. Ehe diese Arbeiten ganz zu Ende waren, wurde bereits mit den Nietarbeiten begonnen. Als diese Anfang März 1892 vollendet waren, wurden die Bogen bei 1° C. auf ihre Widerlager abgelassen, hierbei senkten sie sich in der Mitte um 33 mm. Das Zusammenbauen der Bogen hatte Dank der sowohl in der Werkstatt wie bei den Aufstellungsarbeiten乙ethätigten Sorgfalt und Sachkenntniß des ausführenden

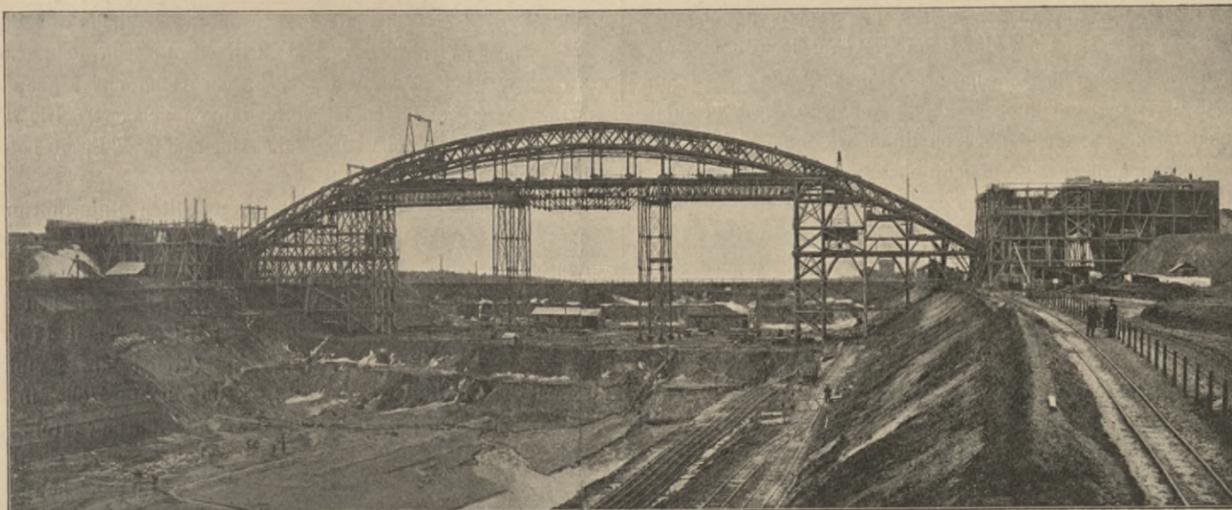


Abb. 280. Hochbrücke bei Grünenthal. (Stand der Arbeiten am 24. Februar 1892.)

Brücke begannen in der Brückenbauanstalt Ende Mai 1891; Anfang 1892 wurden auch die letzten der wichtigeren Theile nach der Baustelle versandt. Sämtliche Einzeltheile der Brücke wurden auf Zulageböden zusammengebaut und so gebohrt. Dabei mußten die Bogen in drei Theilen zugelegt werden, weil der vorhandene Raum nicht gestattete, die Zulage in einem Stück zu bewirken. Bei der Anordnung der Stöße und der sonstigen Verbindungen wurde der größte Werth darauf gelegt, daß möglichst große Stücke in der Brückenbauanstalt einschl. der Vernietung vollständig fertig gestellt werden konnten, sodafs nur wenig Nietarbeit auf der Baustelle auszuführen war. Die Aufstellung des Ueberbaues erfolgte mit Hilfe von festen Gerüsten, die theils aus Holz, theils aus Eisen bestanden, wie die Text-Abb. 280 erkennen läßt.

Berechnet war das Aufstellungsgerüst für eine Belastung mit 940 t Eisengewicht und für einen Winddruck von 120 kg auf das qm. Bei dem orkanartigen Sturm vom 10. December 1891 hat es sich durchaus bewährt.

Das Heben der Eisentheile von dem auf der Höhe + 32,80 liegenden Lagerplatze, Text-Abb. 279, bis zur Verwendungsstelle geschah mit Hilfe von drei auf dem Gerüst laufenden Krahnwagen, von denen der 13 m hohe mittlere und die beiden 17 m hohen seitlichen je so ausgebildet waren, daß der Querschnitt des eisernen Ueberbaues innerhalb ihres Wirkungskreises überall in ihnen Platz fand. Die Krahnwagen wurden elektrisch angetrieben, der benötigte Strom

Werkes keinerlei Schwierigkeiten gemacht. Insbesondere konnten die beim Schließen der Bogen sich herausstellenden kleinen Längenunterschiede, die nur bis 1 cm betrug, durch entsprechendes Abnehmen der zwischen den zweitheiligen Lagerstützen angeordneten Stahlkeile ausgeglichen werden.

Am 2. October 1892 benutzten die ersten Fuhrwerke die neuen Straßenstrecken und die Brücke, die Belastungsproben fanden am 4. und 5. November statt, und vom 15. December an leitete die Eisenbahn die Züge über den neuen Weg. Seine Majestät der Kaiser besuchte am 9. November 1892 die Baustelle, der von Seiner Majestät benutzte Zug war zugleich der erste regelmäfsig zusammengesetzte Eisenbahnzug, der die neue Strecke und die Brücke befahren hat.

Die Gesamtkosten der Hochbrücke bei Grünenthal nebst ihren Rampen und sonstigen Nebenanlagen haben rund 2 040 000 Mark betragen. In dieser Summe sind jedoch die Kosten der Dammschüttungen nicht enthalten, da diese Dämme von dem Unternehmer des Erdarbeitenloses VI ohne besondere Entschädigung mit den aus dem Canalquerschnitt ausgehobenen Bodenmengen hergestellt wurden. Der Gieselau-Durchlaß hat dabei die Aufwendung von rund 125 000 Mark erfordert, während der Ueberbau der Hochbrücke rund 600 000 Mark gekostet hat. Er enthält 1236 t Schweiß-eisen zu einem Einheitspreise von 436,50 Mark, und 274 cbm Eichenholz zu je 160 Mark, außerdem rund 28 t Eisengufsstücke und 12,5 t Stahlgufsstücke.

## b) Die Hochbrücke bei Levensau.

Hierzu die Abbildungen auf Blatt 44 und 45.

Die Hochbrücke bei Levensau dient ebenso wie die Hochbrücke bei Grüenthal zur gleichzeitigen Ueberführung einer Eisenbahnlinie und einer Landstrafse über den Kaiser Wilhelm-Canal, sie unterscheidet sich von dieser jedoch insofern, als einmal auf die Anlage von Rampen für Nebenwege nicht Bedacht zu nehmen war, andererseits aber die bisher eingeleisige Eisenbahnlinie voraussichtlich in Zukunft mit einem zweiten Gleise ausgestattet werden wird und hierauf bei der Anordnung der Widerlager und des Ueberbaues der Brücke Rücksicht genommen werden mußte.

Die Eisenbahn- und Strafsenverlegung. Die alte Eisenbahnlinie kreuzte den Kaiser Wilhelm-Canal etwa bei km 90, die Landstrafse lag in der Canallinie gemessen annähernd 2 km weiter östlich. Um die für die Dämme erforderlichen Bodenmengen nach Möglichkeit einzuschränken, mußte die Brücke noch über die Landstrafse hinaus nach Osten verlegt werden. Bei km 92,4 fand sich eine Stelle, wo das Gelände auf beiden Seiten des Canals annähernd gleich hoch und zwar auf der Höhe  $+41,80$  lag und somit die Widerlager keine übermäßig große Höhe erhalten brauchten. Da hier der Baugrund auch tragfähig war — er bestand zum größten Theil aus Sand, der von dünnen Lehmschichten in ganz unregelmäßiger Lagerung durchzogen war —, so wurde diese Stelle für das eigentliche Brückenbauwerk ausgewählt. Die für die Dämme erforderlichen Bodenmengen betragen immerhin noch rund 2000000 cbm und vertheilten sich auf die beiden Brückenrampen sehr ungleichmäßig. Wie die Abb. 3 auf Bl. 8 der Abtheilung I dieser Denkschrift erkennen läßt, ist die südliche Rampe erheblich länger als die nördliche. Trotzdem erforderte sie nur rund 650000 cbm gegenüber rund 1350000 cbm der nördlichen Rampe. Letztere überschreitet einige hundert Meter nördlich von der Brücke das Thal der Levensau, eines kleinen Flusses, der bereits bei der Erbauung des Schleswig-Holsteinischen Canals verschwunden ist, weil sein Lauf im wesentlichen mit dem Canal zusammenfiel, und von dem Levensauthal nach Norden zu steigt das Gelände, in das überdies noch die Thäler einiger kleinerer Wasserläufe eingeschnitten sind, ziemlich sanft an, sodafs der nördliche Damm in dem größten Theil seiner Länge eine recht erhebliche Höhe erhalten mußte. Die alte Bahnlinie hatte beiderseitig des Canals nach der Drehbrücke zu, mit der sie über den Schleswig-Holsteinischen Canal geführt wurde, Gefälle gehabt, die verlorene Steigung war jedoch nicht so bedeutend, daß durch die Anlage der Levensauer Brücke in dieser Beziehung noch ein Gewinn zu erzielen gewesen wäre. Im Gegentheil, das verlorene Gefälle ist gegen früher noch um rund 6 m vergrößert worden, und da auch die 7840 m lange Bahnverlegung um etwa 2,5 km länger ist als die alte Linie, so hat der im Privatbesitz befindlichen Kiel-Eckernförde-Flensburger Eisenbahn eine nicht unbeträchtliche Entschädigung für die durch den Brückenbau und die Bahnverlegung herbeigeführte Erschwerung und Vertheuerung ihres Betriebes gezahlt werden müssen.

Auf der Nordseite des Canals konnte der neue Eisenbahndamm so gelegt werden, daß seine Länge das unter Berücksichtigung der Höhenverhältnisse erreichbare Mindestmaß erhielt, auf der Südseite mußte jedoch die Ortschaft Suchsdorf umgangen und die Kiel-Eckernförder Landstrafse in Schienenhöhe gekreuzt werden, und diese beiden Umstände führten im Zusammenhange mit der Höhenlage der alten Bahnlinie die große Länge der Verlegung herbei. Die größten Steigungen der neuen Bahnlinie betragen 1:100.

Die Strafsenverlegung zweigt von der alten Landstrafse dicht bei der Ortschaft Suchsdorf und zwar nördlich derselben ab, steigt mit der Neigung  $1:33\frac{1}{3}$  nach der Brücke hinauf, liegt dort auf der Höhe von  $+62,90$  und fällt nördlich von der Brücke mit demselben Gefälle nach der alten Strafsen wieder hinab. Die Befestigung der Fahrbahn, die Anlage der Fußwege, der Wasserrinnen und der Schutzgeländer ist durchweg in gleicher Weise wie bei den Strafsenrampen der Grüenthaler Brücke erfolgt.

Die Kreuzung der neuen Bahnlinie mit den vorhandenen Wegen machte die Anlage von fünf Unterführungen nothwendig. Die drei größeren, die Unterführung der Kiel-Eckernförder Landstrafse auf der Nordseite des Canals mit 7,0 m Lichtweite und die Unterführungen je eines nach den Ortschaften Suchsdorf und Steinbek führenden, südlich vom Canal gelegenen Feldweges mit je 5,0 m Lichtweite konnten vollständig aus Mauerwerk hergestellt werden, da die vorhandene Bauhöhe dazu ausreichte; für die 4,5 m im Lichten weiten Unterführungen der Feldwege nach den Ortschaften Alt-Wittenbek auf der Nordseite und Eichkoppel auf der Südseite des Canals mußte dagegen die Bauhöhe möglichst eingeschränkt werden, und deshalb wurde jede Fahrschiene zwischen zwei I-Trägern von 38 cm Höhe auf kurze, aus Winkeleisen gebildete Querverbindungen gelagert. Die Höhe zwischen Schienenoberkante und Unterkante I-Eisen beträgt nur 0,44 m.

Die ganz aus Mauerwerk hergestellten Unterführungen sind mit halbkreisförmigen Gewölben überdeckt, das bedeutendste dieser Bauwerke ist die Unterführung der Kiel-Eckernförder Landstrafse. Dieselbe ist zwischen den Stirnen 40,38 m lang und in dem mittleren Theil 11,37 m hoch überschüttet; ihre Längsachse kreuzt die Bahnlinie unter einem Winkel von  $73^{\circ} 3'$ , die lichte Höhe in der Mitte beträgt 5,75 m. Um die Unterführung trotz der großen Länge möglichst hell zu erhalten, sind sämtliche

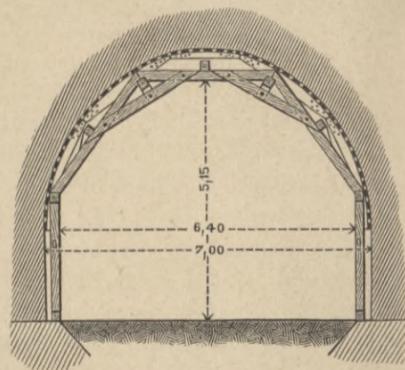


Abb. 281. Lehrgerüst für die Unterführung der Kiel-Eckernförder Landstrafse.

Innenflächen mit weissen, aus der Ziegelei Stromsberge in Schweden bezogenen Klinkern verblendet. Die Stärke des Gewölbes beträgt im mittleren Theil 1,16 m, nach den Enden der Unterführung nimmt sie der geringeren Ueberschüttungshöhe wegen bis zu 0,64 m ab; die Lagerfugen des schiefen Gewölbes stehen durchweg senkrecht zu den Lagerstirnen, die Kämpfer- und Schlußstücke sind an den Stirnen aus Granit hergestellt. Das Grundmauerwerk besteht aus Beton. Aus Text-Abb. 281 ist das Lehrgerüst der Unterführung zu ersehen.

Die Wasserläufe, welche die Bahnverlegung kreuzen, wurden je nach der Wasserführung und der Höhe der Dammschüttung mit verschieden gestalteten Bauwerken unter den Dämmen hindurchgeführt. Für die beiden größeren Bäche, die Alt-Wittenbeker Au nördlich und die Kopperpähler Au südlich vom Canal, wurden gewölbte Durchlässe von 2,0 bzw. 1,0 m Lichtweite und 2,2 bzw. 1,4 m Lichthöhe erbaut; für die kleinen Wasserläufe und einige Entwässerungsgräben wurden sechs gewölbte Durchlässe von 0,6 m Breite und 0,8 m Höhe, acht Durchlässe aus eiförmigen Cementrohren von 0,47 m Weite und 0,74 m Höhe und zwei Durch-

lässe aus gußeisernen Rohren von 30 cm lichtigem Durchmesser in die beiden Dämme eingebaut.

Der Baugrund bestand bei den Unterführungen und Durchlässen meist entweder aus kiesigem Sande oder aus feinkörnigem leetigen Sande oder aus Letten, sodafs besondere Gründungen nicht erforderlich waren. Bei dem Durchlaß für die Alt-Wittenbeker Au und bei zwei weiteren Durchlässen auf der Nordseite des Kaiser Wilhelm-Canals bestanden die oberen Bodenschichten jedoch aus Wiesenmergel, und diese drei Durchlässe wurden je auf eine durchgehende, 0,6 bzw. 0,8 m starke Betonplatte gestellt, um sie gegen seitlich wirkende Druckkräfte widerstandsfähiger zu machen. Insgesamt ent-

dies in der Nähe der Stadt Kiel, also in bevorzugter Lage befindet, zu einem monumentalen Bauwerk auszugestalten, so kam die Anordnung von Mittelpfeilern gar nicht ernstlich in Frage. Von verschiedenen Vorentwürfen kam neben dem Entwurf der zur Ausführung gelangten Bogenbrücke nur noch eine Auslegerbrücke in Form einer versteiften Hängebrücke auf die engere Wahl. Die Entscheidung fiel theils aus baulichen Rücksichten zu gunsten der Bogenbrücke aus, theils weil die gewünschte monumentale Wirkung mit dieser sicherer zu erzielen war.

Die beiden die Hauptträger des Brückenüberbaues bildenden Bogen (Abb. 1 Blatt 44 und 45) sind ebenso wie

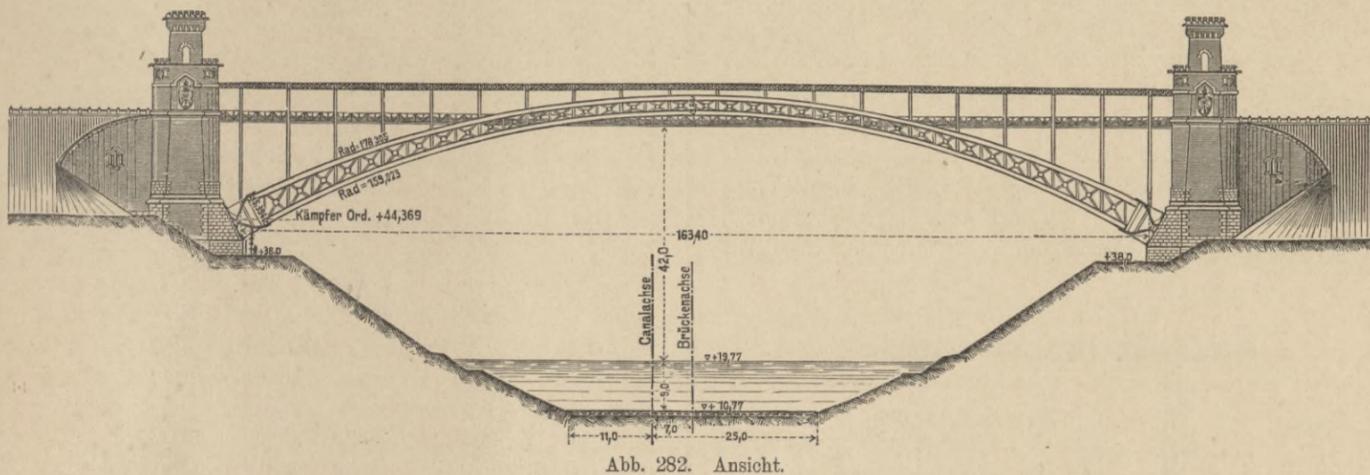


Abb. 282. Ansicht.

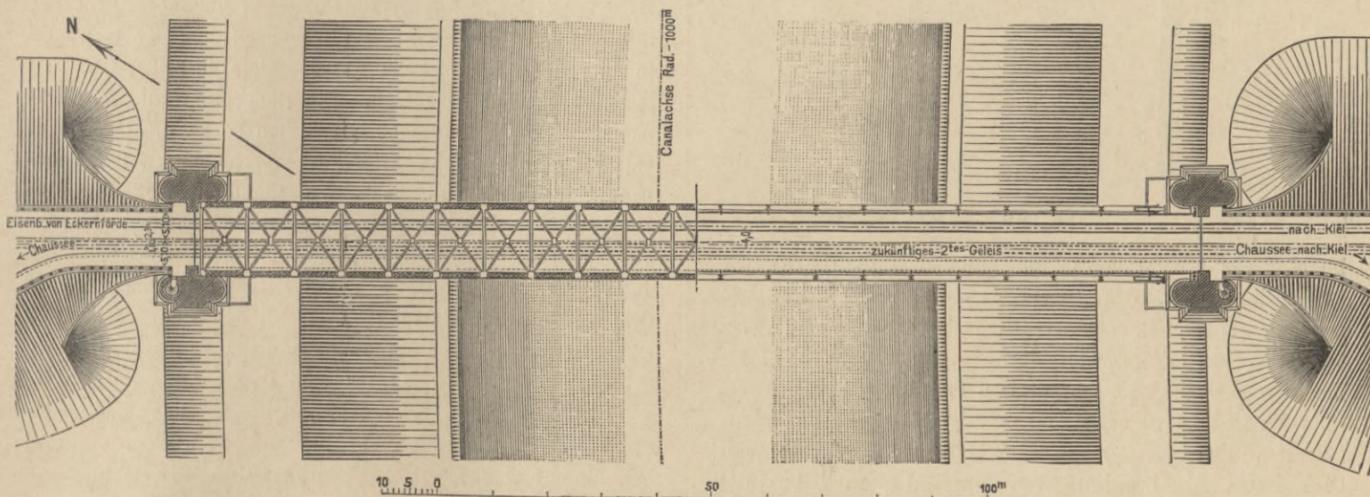


Abb. 283. Oberansicht und wagerechter Schnitt über der Fahrbahn.

halten die Unterführungen und die Durchlässe rund 2400 cbm Beton und 4000 cbm Ziegel- und Hausteinauwerk.

Die Hochbrücke. An der Baustelle der Hochbrücke ist die Canallinie nach einem Halbmesser von 1000 m gekrümmt, und die Breite des Canals ist daselbst um 14 m größer als in den geraden Strecken. Hieraus ergab sich für die Stützweite des Ueberbaues ein größeres Maß als bei der Grünenthaler Brücke, es beträgt, wie auch aus der Text-Abb. 282 zu ersehen ist, 163,4 m, gemessen zwischen den Mittelpunkten der Cylinder, nach denen die an den Bogenenden befestigten Theile der Auflager-Gelenke abgedreht sind. Bei Beginn der Bauausführung der Levensauer Brücke war die Canalstrecke unterhalb der Brücke und in der Nähe der Baustelle zum größten Theil fertig ausgehoben, und der Herstellung von Mittelpfeilern hätte, da auch der Baugrund vollständig tragfähig war, keinerlei Hindernis entgegengestanden. Bei der großen Höhe, die die Mittelpfeiler erhalten mußten, war jedoch auf eine wesentliche Verminderung des Gewichtes der Ueberbauten nicht zu rechnen, und da ferner der Wunsch gehegt wurde, auch die zweite Hochbrücke, die sich über-

bei der Grünenthaler Brücke als Zweigelenkbogen ausgebildet, sie haben jedoch im Gegensatz zu den sichelförmig ausgeführten Bogen in Grünenthal die kleinste Höhe in der Bogenmitte und die größte Höhe nahe den Auflagern. Die Entfernung der Gurt-Schwerpunkte beträgt in der Bogenmitte 3,2 m und in der Verlängerung über den Kämpfern 5,6 m. Die Gurtungen sind stetig gekrümmt, und zwar liegen die Schwerpunkte des Obergurts auf einem Kreisbogen von 176,841 m Halbmesser und die des Untergurts auf einem Kreisbogen von 160,168 m Halbmesser. Der Querschnitt der Gurte ist in der Text-Abb. 284 dargestellt, der Wechsel in den Querschnittsabmessungen ist durch Fortlassen oder Hinzufügen von Deckplatten herbeigeführt. Am Bogenende sind die Gurtungen mit kreisförmigen Krümmungen von 3 m Halbmesser zusammengeführt und stoßen stumpf gegen ein Gußstahlstück, welches einen Theil des Kämpfergelenks bildet. In den scharfen Krümmungen nahe den Auflagern sind die durch Auflegen von Platten noch verstärkten Gurtstehbleche durch die ausgeschlitzten Deckplatten durchgesteckt und mit diesen auch auf der Außenseite durch Anschlußwinkel ver-

bunden. Infolge dessen werden die durch die Deckplatten hindurchgehenden Niete von der Beanspruchung auf Zug in ihrer Längsrichtung entlastet, und ein Absprengen der Nietköpfe ist nicht zu befürchten. Die Wandglieder der Bogen bestehen aus lothrechten Pfosten und gekreuzten Schrägstreben, zwischen je zwei Pfosten befinden sich immer zwei gekreuzte Schrägstreben. Die Wandglieder sind aus zwei Paar, durch Gitterwerk verbundenen Winkeleisen gebildet und zwischen die Stehbleche der Bogengurtungen eingebaut. Teilweise mußten die Wandglieder durch Kopfbleche verstärkt werden. An den Ueberkreuzungsstellen der Schrägstreben geht die Strebe mit dem größeren Querschnitt durch, die schwächere Strebe ist unterbrochen und durch kräftige, mit beiden Streben vernietete Knotenbleche ersetzt.

Die Eintheilung der Fahrbahn ist aus den Brücken-Querschnitten auf Bl. 44 und 45 ersichtlich. Danach ist das Eisenbahngleis nicht in der Mitte der Fahrbahn angeordnet, sondern so nahe an den östlichen Bogenträger herangerückt, daß später noch ein zweites Gleis auf der Brücke verlegt werden kann, und daß auch dann noch der Fußgängerverkehr während der Benutzung der Brücke durch Eisenbahnzüge ungestört

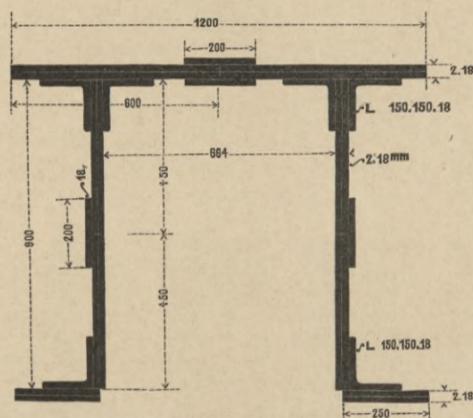


Abb. 284.

bleibt. Für den Wagenverkehr muß auch die Levensauer Brücke gesperrt werden, sobald sie von einem Eisenbahnzuge befahren werden soll. Die Eisenbahnschienen ruhen auf Querschwellen von 3 m Länge; die aus einem unteren 11 cm und einem oberen 4,5 cm starken Bohlenbelage bestehende Fahrbahndecke wird außerhalb der Schienen von Querbalken getragen. Ebenso ruhen die 6 cm starken Fußwegbohlen auf Querbalken, die ihrerseits von Längs-U Eisen unterstützt werden. Der Belag besteht durchweg aus Eichenholz. Der Fußweg ist von der Fahrbahn durch ein Geländer getrennt, das über die Widerlager hinaus auf beiden Seiten der Brücke bis an die Schranken reicht, die die Fuhrwerke von der Brücke fernhalten, wenn diese von einem Eisenbahnzuge benutzt werden soll. Außerdem ist an jeder Längsseite der Fahrbahn noch ein weiteres, von Brückenwiderlager zu Brückenwiderlager reichendes Geländer vorgesehen. Das Eisengerippe der Fahrbahn besteht aus vier Längs-I Eisen, Normalprofil Nr. 36, die die Querschwellen des Eisenbahngleises und die Querbalken des Bohlenbelages tragen und mit den Querträgern fest vernietet sind, aus den Querträgern selbst, die in 2,866 m Entfernung von einander angeordnet sind, und aus zwei, als Fachwerkträger ausgebildeten, sogenannten Hauptlängsträgern, die von einem Brückenwiderlager bis zum anderen durchgehen und die Querträger unterstützen. Bei jedem dritten Querträger, also in je 8,6 m Entfernung, übertragen diese Längsträger die auf sie einwirkenden Lasten auf die Bogenträger der Brücke, jedoch nicht unmittelbar, sie sind vielmehr mittels Hängestäben an Querriegeln aufgehängt, die ihrerseits von lothrechten Pfosten getragen werden, die sich auf die Obergurte der Bogenträger stützen und an ihnen

befestigt sind. Solcher Querriegel sind 20 vorhanden, sodafs die Fahrbahnträger, abgesehen von den beiden Endfeldern, die je mit dem einen Ende auf den Brückenwiderlagern aufruhend und 8,1 m lang sind, aus 19 Feldern bestehen. Die Querriegel liegen so hoch über der Fahrbahn, daß das Normalprofil des lichten Raumes überall unter ihnen reichlich Platz findet. Die Querträger sind sämtlich als Blechträger ausgebildet, die Gurte der Hauptlängsträger haben verschiedene Querschnitte erhalten. Der Obergurt ist T förmig, aus zwei Winkeleisen und einem Flacheisen gebildet, der Untergurt, der zugleich als Gurtung des Fahrbahnträgerverbandes dient, hat zwar dieselbe Grundform erhalten, das Flacheisen ist jedoch an beiden Rändern mit je einem untergenieteten Winkeleisen versehen. Die Wandglieder der Hauptlängsträger sind theils aus zwei, theils aus vier Winkeleisen, also sämtlich steif, hergestellt. Die Gurte sind an jedem Hängestab gestoßen, der Stofs ist jedoch durch Deckwinkel und Decklaschen gedeckt, sodafs die Hauptlängsträger als durchgehende Träger auf 22 Stützen zu betrachten sind.

Bei der Ausbildung des Ueberbaues wurde dahin gestrebt, die Fahrbahn und die Bogenträger möglichst unabhängig von einander zu machen, sodafs die Längen- und Formänderungen, denen die beiden Theile unter der Einwirkung von Wärmeschwankungen, von Lasten, Winddruck usw. unterliegen, thunlichst ohne gegenseitigen Einfluß auf die Höhe der Spannungen in den einzelnen Stäben und sonstigen Baugliedern bleiben. Um die Ausdehnung der Fahrbahn in der Längsrichtung der Brücke von den Bogen unabhängig zu machen, sind die Hauptfahrbahnträger nur in der Brückenmitte derartig mit den Bogen verbunden, daß beide Theile in der Längsrichtung der Brücke stets dieselbe Lage zu einander einnehmen müssen. Die Hängestäbe sind mit Ausnahme der beiden mittelsten sämtlich so an die Querriegel angeschlossen, daß der Anschluß Verschiebungen der Fahrbahn einen möglichst geringen Widerstand entgegengesetzt. Die Fahrbahn hat ihren eigenen Windverband erhalten, der die auf sie selbst und die Verkehrslast einwirkenden Windkräfte aufnehmen soll. Die Untergurte der Hauptlängsträger dienen dem Verbandsverbande als Gurtungen, die bei den Hängestäben liegenden Querträger als Pfosten und zwei sich kreuzende U Eisen als Querstreben. Die U Eisen sind durch Aussparungen in den Stehblechen der beiden nicht als Pfosten dienenden Querträger jedes Windverbandfeldes hindurchgeführt; der Verband liegt durchweg in der Höhe des Untergurtes der Hauptlängsträger. Wenn die Fahrbahn und die Bogen die Winddruckkräfte vollständig unabhängig von einander hätten aufnehmen sollen, dann hätte der Windträger der Fahrbahn nur auf den beiden Brückenwiderlagern aufgelagert werden dürfen. Bei der großen Spannweite der Brücke und der nur 10,7 m betragenden Entfernung zwischen den Mitten der beiden Hauptlängsträger wurden jedoch die wagerechten Durchbiegungen des Windträgers unzulässig groß, und deshalb mußte der Träger zwei mittlere Stützpunkte erhalten. Diese befinden sich auf zwei kastenförmigen Querverbänden, die bei den in der Abb. 1 auf Bl. 44 u. 45 mit 12 bezeichneten Pfosten zwischen die Bogenuntergurte eingebaut sind. Die Windträger-Auflager befinden sich in der Mitte der Querverbände und sind so ausgebildet, daß sich die Fahrbahn in ihrer Höhenlage und in der Längsrichtung der Brücke innerhalb gewisser Grenzen beliebig verschieben kann, aber an Bewegungen senkrecht zur Brückenachse durch die Lager verhindert wird.

Durch diese Auflager wird der weitaus größte Theil des auf die Fahrbahn und ihre Verkehrsbelastung wirkenden Winddruckes auf die Untergurte der Bogen übertragen und muß in diesen nach den Widerlagern geleitet werden. Das geschieht in einem in der halben Höhe der Untergurte an-

geordneten Windverbände, der bei den Querverbindungen am Pfosten 12 beginnt und sich bis zu den Bogenanfängen fortsetzt. Die Untergurte der beiden Bogenträger bilden auf die entsprechende Länge zugleich die Gurte des Windträgers, als Pfosten dienen zwischen den Bogen vorgesehene Querverbände, und die gekreuzten Schrägstreben bestehen aus je zwei nach der Strebenmitte zu auseinander gespreizten U-Eisen, deren Stege einander zugekehrt und deren je in einer Ebene

In dem zwischen den beiderseitigen Pfosten 12 gelegenen Theil der Bogen, d. h. auf  $7 \times 8,6$  oder  $60,2$  m Länge, liefs sich zwischen die Bogen weder ein Querverband noch ein Längsverband einbauen, nur bei den Pfosten 12 war es möglich, die Untergurte durch die eben erwähnte Querverbindung gegen einander abzusteifen. Auf eine so grofse Länge

die Bogen ohne gegenseitige Verbindung zu lassen, war in Ansehung der nicht unbedeutlichen Seitenkräfte und der starken Druckspannungen der Gurte nicht angängig, und deshalb blieb nur übrig, die Verbände in solcher Höhe oberhalb der Fahrbahn anzuordnen, dafs sie weder dem Eisenbahn- noch dem Fuhrwerkverkehr hinderlich werden, und sie durch Pfosten mit den Bogen zu verbinden, die imstande sind, die auf die Bogen einwirkenden Querkkräfte mit Sicherheit auf die Verbände zu übertragen. Als Pfosten und als Querverbände dienen die bereits bei der Beschreibung der Fahrbahn-aufhängung erwähnten Pfosten und Querriegel. Beide Theile hätten der Aussteifung der Bogenträger wegen nur in dem mittleren Theil der Brücke, also zwischen den Pfosten 12, angeordnet zu werden brauchen, der Aufhängung der Fahrbahn wegen mußten sie jedoch auch an den Endtheilen der Brücke vorgesehen werden, und dementsprechend ist auch der obere Windverband von Widerlager zu Widerlager durchgeführt. Die Gurtungen des Windträgers bestehen aus vier Winkeleisen, die derartig angeordnet und durch Gitterwerk aus Flacheisen und Winkeleisen mit einander verbunden sind, dafs die Gurtungen, die von den Pfosten getragen werden und mit ihnen vernietet sind, einen kastenförmigen Querschnitt haben. Die Schrägstreben, in jedem Felde ein sich kreuzendes Paar, sind als Gitterträger mit je aus zwei Winkeleisen bestehenden Gurten ausgebildet. Um sie gegen seitliches Ausknicken zu sichern, sind gleichlaufend mit den

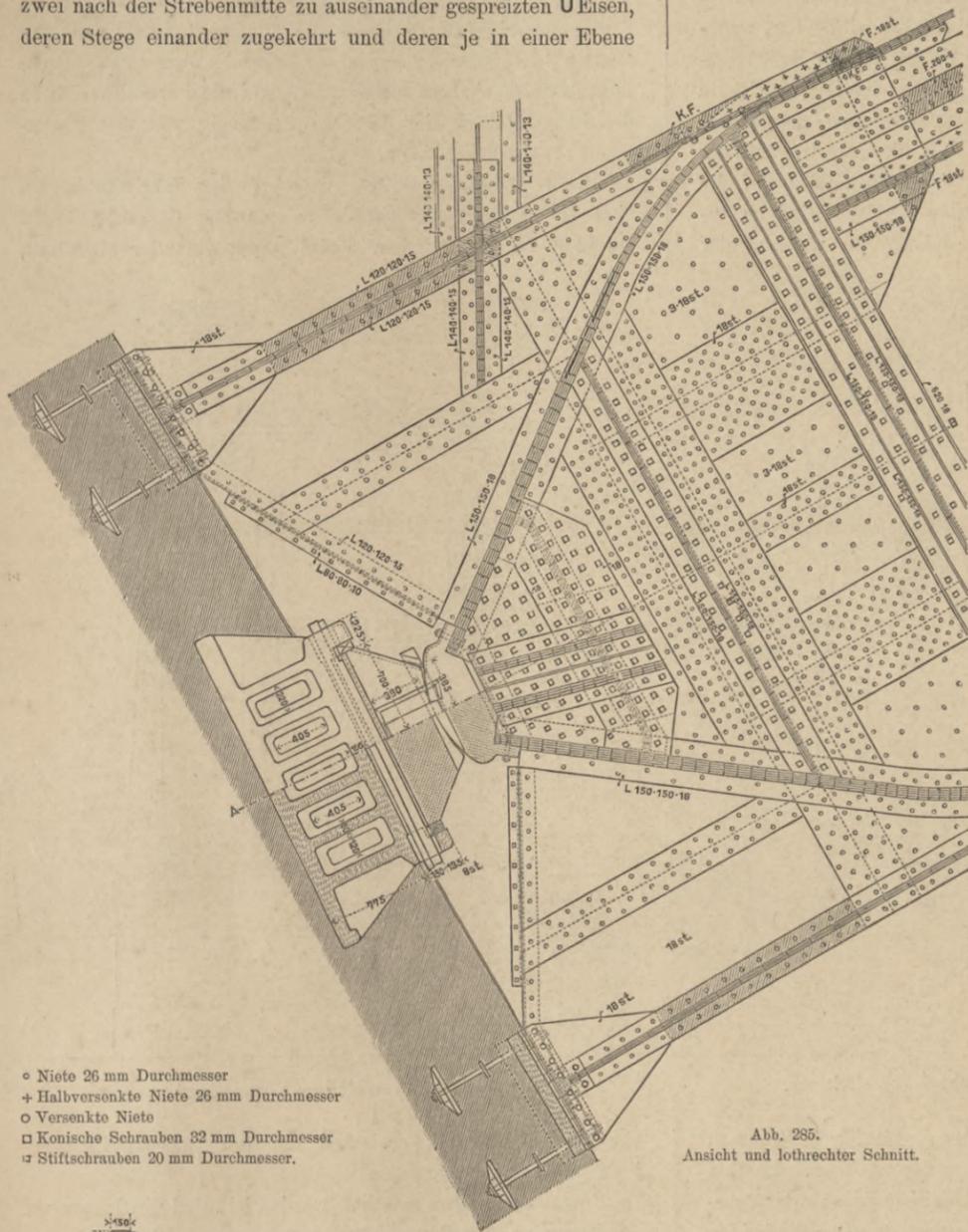


Abb. 285.  
Ansicht und lothrechter Schnitt.

- Niete 26 mm Durchmesser
- + Halbversenkte Niete 26 mm Durchmesser
- Versenkte Niete
- Konische Schrauben 32 mm Durchmesser
- ▣ Stiftschrauben 20 mm Durchmesser.

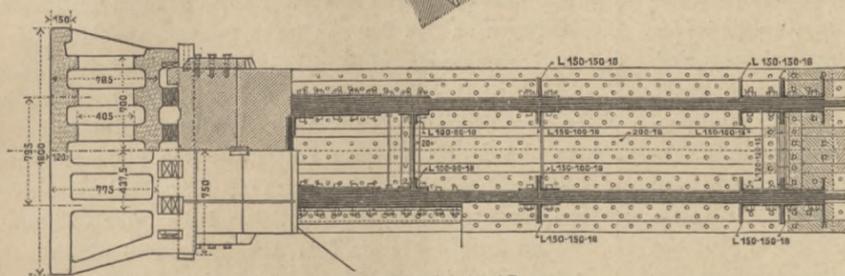


Abb. 286. Schnitt A.B.  
Abb. 285 u. 286. Bogenanfang und Auflager.

liegende Flansche durch Flacheisenstäbe mit einander versteift sind. Jeder der beiden Windverbände übernimmt zugleich die auf den zugehörigen Theil der Bogen, soweit sie unterhalb der Fahrbahn liegen, einwirkenden Winddruckkräfte, ausserdem haben sie aber auch und zwar wiederum bei den Pfosten 12 die auf den in Höhe der Fahrbahn und oberhalb der Fahrbahn gelegenen Theil der Bogenträger entfallenden Winddrucke aufzunehmen und auf die Brückenwiderlager zu übertragen.

Gurten des Windträgers noch zwei wagerechte Gitterträger angeordnet, deren je aus einem Winkeleisen bestehende Gurte mit den Gurten der Schrägstreben und der Querriegel vernietet sind. Der Windverband steigt von den Widerlagern nach der Brückenmitte zu um  $0,7$  m an, und dadurch ist erreicht, dafs die langen Gurtungen auch bei der gröfsten Kälte, also wenn die Bogen sich in der Mitte am meisten gesenkt haben, nie als nach unten durchhängend erscheinen. Der Windträger ist den wagerechten, auf ihn einwirkenden Kräften

gegenüber, genau so wie der Verband der Fahrbahn, an vier Stellen aufgelagert. Die beiden mittleren Stützpunkte befinden sich je bei den Pfosten 12 des Ueberbaues. Hier sind die Pfosten der Bogenträger, der zwischen die Untergurte der Bogen eingebaute, bereits oben erwähnte kastenförmige Querverband, die Pfosten oben auf dem Obergurt und der diese Pfosten verbindende Querriegel zu einem steifen Rahmen ausgebildet, der die senkrecht zur Brückenachse wirkenden, wagerechten Kräfte auf die zwischen die Untergurte der Bogen eingebauten, nach den Auflagern sich fortsetzenden Längsverbände überträgt. Die Abb. 5 auf Bl. 44 u. 45 zeigt die Ausbildung dieser Rahmen, sie läßt auch erkennen, daß die Uebertragung der senkrecht zur Brückenlängsachse wirkenden Kräfte auf die Träger durch Keillager erfolgt. Diese Keillager sind so angeordnet, daß nur die Querkräfte übertragen werden, der

punkte drehen können. Der Anschluß ist deshalb nur mit Hilfe von zwei breiten Anschlußwinkeln aus Siemens-Martin-Stahl erfolgt, deren lothrechte Schenkel mit den Querblechen der Pfosten vernietet sind. Da die Anschlüsse auch Quermomente aufzunehmen haben, sind zur Verbindung der wagerechten Schenkel mit den Bogengurtungen genau eingepaßte konische Stahlschrauben verwandt. Behufs Verminderung der Quermomente sind übrigens die Bogenuntergurte bei den Pfosten 14, 16 und 18 gegen die Fahrbahn abgestützt. Diese Abstützungen sind so ausgebildet, daß die Fahrbahn sich in der Längsrichtung der Brücke unabhängig von den Bogenträgern verschieben kann.

Soweit die Bogenträger unterhalb der Fahrbahn liegen, sind sie durch Querverbände in der aus der Abb. 6 auf Bl. 44 u. 45 ersichtlichen Weise gegen einander abgesteift,

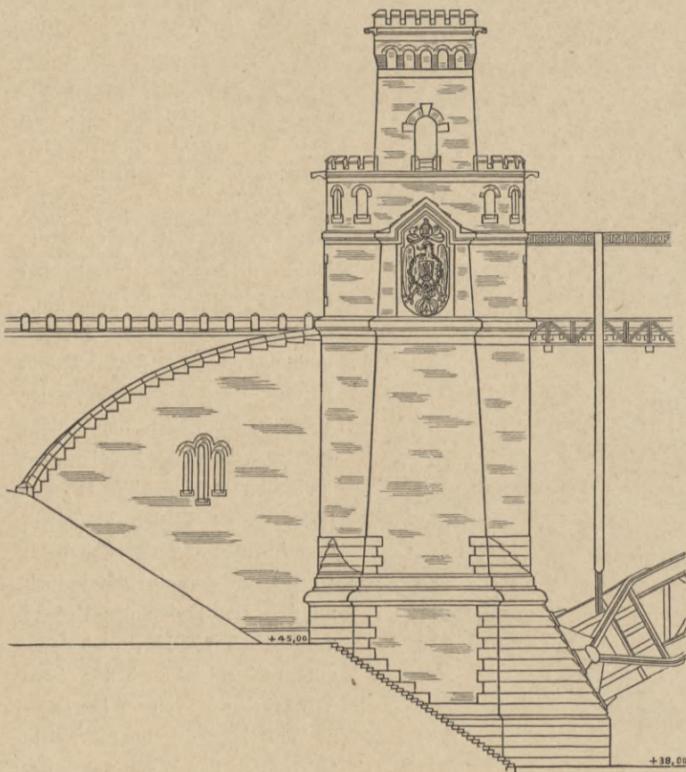


Abb. 288. Seitenansicht des Widerlagers.

Windverband sich aber an den Lagern gegen den Querrahmen in der Längsrichtung der Brücke verschieben kann. An den Brückenden ist der obere Windverband ebenfalls durch Querrahmen gelagert. Diese Querrahmen ruhen dort, wo die beiden Hauptlängsträger der Fahrbahn an sie angeschlossen sind, mittels Kipplagern verschieblich auf den Brückenwiderlagern auf, sie sind jedoch an jeder Bewegung quer zur Brückenlängsachse durch ein Lager verhindert, das ähnlich ausgebildet ist, wie das auf der Querverbindung zwischen den Lager-Untergurten bei den Pfosten 12 angeordnete Lager. Endlich sind die beiden Querrahmen noch gegen Abheben von den Kipplagern durch je zwei Ankerbolzen gesichert, die außerhalb der Kipplager angeordnet und derartig in dem Widerlagermauerwerk befestigt sind, daß sie Verschiebungen des Querrahmens in der Längsrichtung der Brücke zulassen. Die Abb. 7 und 8 auf Bl. 44 und 45 zeigen die Ansicht dieses Querrahmens und einen Grundriß von der Auflagerung der Fahrbahn auf den Widerlagern.

Um den oberen Windverband zu befähigen, sich unabhängig von den Bogenträgern in der Brückenlängsrichtung zu verschieben, mußten die ihn stützenden Pfosten derartig mit den Obergurten der Bogen verbunden werden, daß sie sich in der Längsrichtung der Brücke frei um ihre Fuß-

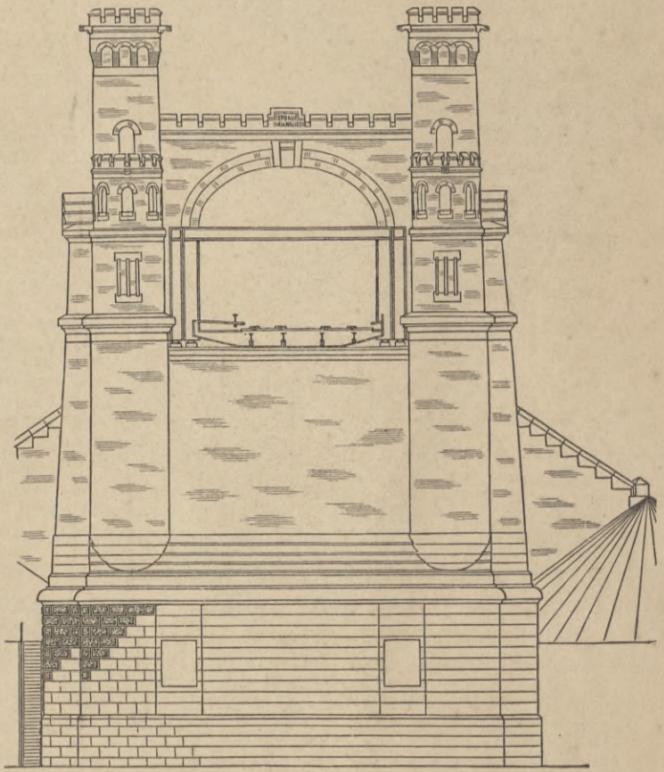


Abb. 289. Ansicht des Widerlagers vom Canal aus.

ebenso sind daselbst zwischen die Bogenpfosten Querverbindungen eingebaut.

Wie bereits oben erwähnt worden ist, sind die Gurtungen der Bogen an den Bogenanfängen zusammengeführt. Die den zu übertragenden großen Kräften entsprechend verstärkten Steh- und Deckbleche stützen sich mit ihrer sorgfältig bearbeiteten Fläche gegen ein Gußstahlstück, das auf seiner Außenfläche nach einem Halbmesser von 900 mm cylinderförmig abgedreht ist und sich in einer hohlcylinderförmig ausgedrehten Gelenkschale mit dem Halbmesser 930 mm abwälzen kann. Wie die Text-Abb. 285 u. 286 (S. 85) zeigen, stützt sich diese Gelenkschale auf einen aus Gußeisen hergestellten eintheiligen Grundkörper, der in das Widerlagermauerwerk eingelassen ist. Die Kraftübertragung zwischen der Gelenkschale und dem Grundkörper findet mit Hilfe von vier Doppelkeilen statt, die in Verbindung mit zwei wagerechten Keilen zugleich die genaue Einstellung der Gelenkschale ermöglichen. Durch Anordnung von Einsatzstücken ist dafür Sorge getragen, daß sich die Bogen und die an ihnen angebrachten Gußstahlstücke nicht gegenseitig oder gegen die Gelenkschale in wagerechter Richtung verschieben können. Durch die Auflager werden die gesamten, von den Ueberbauten auf die Widerlager ausgeübten Kräfte auf diese übertragen.

Aus Rücksichten auf die äußere Erscheinung der Brücke schien es jedoch nicht angebracht, die Art der Kraftübertragung auch in der äußeren Form der Bogenenden zum

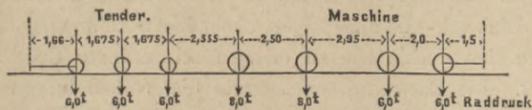


Abb. 287. Schnellzugmaschine mit Tender.

Ausdruck zu bringen. Die Bogenträger haben die größte Entfernung zwischen den Gurten an den Auflagern, die kleinste in der Bogenmitte, also diejenige Form, die für einen an beiden Enden eingespannten Bogen zweckentsprechend ist. Die folgerichtige, wenn auch nur dem Scheine nach vorhandene Durchführung dieser Bogenform auch an den Auflagern erforderte die aus der Text-Abb. 285 ersichtliche Ausbildung der Bogenenden. Die in das Widerlagermauerwerk eingreifenden Eisentheile der Zwickel sind in demselben derartig gelagert, daß sie seitliche Bewegungen nicht machen und senken und in der Längsrichtung der Brücke ungehindert verschieben können.

Der Berechnung des Ueberbaues wurde ein Lastenzug, bestehend aus zwei Schnellzuglocomotiven mit Tendern mit den in der Text-Abb. 287 angegebenen Raddrücken und Achsabständen, sowie aus Güterwagen von je 16 t Gewicht, zu Grunde gelegt. Für die Längs- und Querträger der Fahrbahn wurde auch noch eine Belastung durch Landfuhrwerk von 5 t Raddruck und 1,3 m Achsabstand berücksichtigt. Die Abmessungen der Bogenträger wurden nach Ermittlung der in ihren Stäben auftretenden Spannungen nach der Formel

$$k = 800 \left( 1 \pm \frac{1}{2} \cdot \frac{S_{\min}}{S_{\max}} \right)$$

bestimmt, die Glieder der Fahrbahn wurden so gewählt, daß die höchsten Beanspruchungen betragen:

- für die Holztheile . . . . . 85 kg/qcm,
- für die Längs-**I**Eisen . . . . . 600 kg/qcm,
- für die Querträger und die Hauptlängsträger . . . . . 650 kg/qcm,
- und für die Fußwegwischenträger . . 700 kg/qcm.

Die Berechnung der Stabspannungen in den Bogen erfolgte nach dem von Ritter in seinem Werke: „Der elastische Bogen, berechnet mit Hilfe der graphischen Statik“ angegebenen Verfahren, die Rechnungsergebnisse wurden nach dem von Müller-Breslau im Jahrgang 1884 der Zeitschrift des Architekten- und Ingenieur-Vereins zu Hannover veröffentlichten rechnerischen Verfahren geprüft. Für beide Be-

rechnungsweisen wurden die Bogenträger in zwei Systeme, das eine mit nach der Bogenmitte steigenden, das andere mit dahin fallenden Schrägstreben zerlegt. Die beiden waagrechten, von Widerlager zu Widerlager durchgehenden Windverbände sind als Träger auf vier Stützen unter Berücksichtigung der Senkung der Mittelstützen, wie sie durch die Formänderungen der in Höhe des Bogenuntergurts liegenden Längsverbände hervorgerufen werden, berechnet worden. Die Beanspruchungen in den Rahmen sind mit Hilfe der aus der Betrachtung der elastischen Formänderungen sich ergebenden Gleichungen eingehend geprüft.

Der Entwurf des Ueberbaues ist von dem Oberingenieur Lauter in Frankfurt a. M. im Einvernehmen mit der Kaiserlichen Canal-Commission aufgestellt worden. Die Entwurfsarbeiten beschränkten sich jedoch auf die Festlegung der Gesamtanordnung und der wichtigeren Einzelheiten. Die letzteren wurden aber nur soweit durchgearbeitet, daß sich die bei der öffentlichen Ausschreibung des Ueberbaues in den Wettbewerb eintretenden Brückenbauanstalten ein ausreichend genaues Bild von den zu übernehmenden Leistungen und Arbeiten machen konnten. Die Widerlager der Levensauer Brücke mußten dem Eindruck der Massigkeit entsprechend, den der Ueberbau auf den Beschauer macht, auch besonders kräftig und widerstandsfähig aussehen. Sie treten deshalb als gewaltige, anscheinend aus einem zusammenhängenden Körper bestehende Mauermassen, deren Wucht durch schwere, die Fahrbahn beträchtlich überragende und durch kräftige Mauerwerksbogen mit einander verbundenen

Abb. 290. Schnitt durch die Mitte des Widerlagers.

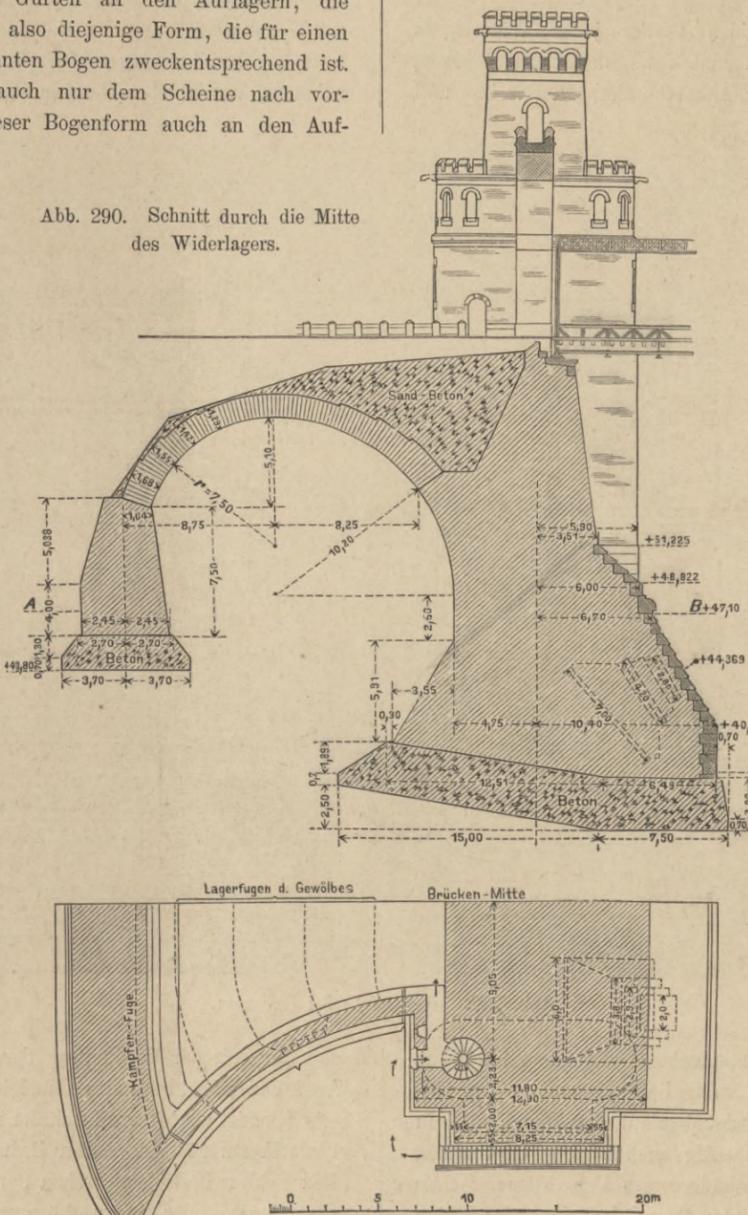


Abb. 291. Grundriß in Höhe AB.

Thürme noch vermehrt wird, in die Erscheinung. Tatsächlich besteht jedes Widerlager aus zwei Pfeilern, einem dieselben verbindenden Gewölbe und zwei Schildmauern, die den zwischen den Pfeilern befindlichen überwölbten Raum nach aufsen hin abschließen. Der dem Canal zunächst stehende Pfeiler dient den beiden Bogen als Stütze und ist den großen Kräften entsprechend, die von den Bogen auf ihn ausgeübt werden, in den aus den Text-Abb. 288 bis 291 ersichtlichen, sehr erheblichen Abmessungen ausgeführt. Da der Baugrund durchaus tragfähig war, so brauchte die Gründungssohle nur bis zur frostfreien Tiefe unter das Gelände gelegt zu werden. Die Breite und die Form des den untersten Theil des Pfeilers bildenden Betonkörpers wurden so gewählt, daß die Mittelkraft der auf den Pfeiler einwir-

kenden Kräfte, wenn sowohl der Ueberbau wie das Widerlager frei von Verkehrslasten sind, durch die Mitte der Gründungssohle hindurchgeht und dafs ferner auch unter den ungünstigsten Belastungsverhältnissen nie Druckbeanspruchungen von mehr als 4,5 kg/qcm des Baugrundes eintreten. Die Gliederung des Pfeilers und seine architektonische Durchbildung dürfte aus den Text-Abb. 288 bis 291 und den beiden Schaubildern Text-Abb. 292 und 293 deutlich genug hervorgehen. Der Entwurf zu den Widerlagern ist in künstlerischer Beziehung von dem Regierungs-Baumeister Muthesius bearbeitet worden.

Das zwischen die beiden Pfeiler jedes Widerlagers gespannte Gewölbe ist nach hinten hin derartig verbreitert, dafs ein erheblicher Theil der Dammböschungen auf ihm und

des Fußweges auf den Widerlagern sind ebenso wie in Grüenthal ausgeführt.

Die Bauausführung. Die Entscheidung, dafs statt der bis dahin geplanten Eisenbahndrehbrücke und der für den Fuhrwerk- und Fußgängerverkehr in Aussicht genommenen Fähre eine Hochbrücke zu erbauen sei, erfolgte Ende April 1892. Die Entwurfsarbeiten sowie die Verhandlungen über die Chaussee- und Eisenbahn-Verlegung und die Grunderwerbs-Verhandlungen wurden im Laufe des Jahres 1892 derartig gefördert, dafs schon im Januar 1893 die Erdarbeiten zur Herstellung der Dämme und Wegerampen sowie der Bau der Wegeunterführungen und der Durchlässe verdingen werden konnte. Den Zuschlag erhielt als Mindestfordernde die Unternehmung v. Kintzel u. Lauser in Cassel.



Abb. 292. Hochbrücke bei Levensau.

dem hinteren Pfeiler, der entsprechend verlängert ist, Platz und Auflager findet. Die Form und die Höhenlage des Gewölbes ist so gewählt, dafs der Verlauf der Drucklinien in beiden Pfeilern möglichst günstig ausfiel. Der Querschnitt des hinteren Pfeilers, insbesondere des Betonbettes, ist so bestimmt, dafs die Mittelkraft aus dem Schub des unbelasteten Gewölbes und aus dem Erddruck durch die Mitte der Fuge zwischen Betonbett und Baugrund hindurchgeht. Die zum Abschluss des überwölbten Raumes dienenden Schildmauern erhalten nur einen verhältnismäfsig geringfügigen Erddruck und diesen auch nur in der Nähe des hinteren Pfeilers, sie konnten dementsprechend schwach bemessen werden. Die Widerlager sind oberhalb des Grundmauerwerkes im wesentlichen aus Ziegelsteinen und Klinkern in Cementmörtel hergestellt. Die Uebermauerung der Gewölbe besteht jedoch aus Sparbeton, und für die Architekturglieder und die Sockelverkleidung, sowie die Abdeckung der Schildmauern und die Brüstungsgeländer der Widerlager sind Granitwerksteine verwandt. Die vier Wappenschilder, die ebenso wie bei der Grüenthaler Brücke einen besonderen Schmuck der Hauptpfeiler bilden, sind aus Oberkirchener Sandstein hergestellt. Die Befestigung der Fahrbahn und das Abschlussgeländer längs

Zur Zeit der Verdingung der Dammschüttungen war die Trockenausschachtung des Canaleinschnitts bei Levensau bereits beendet und der Einschnitt soweit fertig gestellt, dafs er als Ersatz für eine aufer Benutzung gestellte Strecke des alten Schleswig-Holsteinischen Canals von der Schifffahrt benutzt wurde. Für die Anschüttung der Dämme konnten daher nicht, wie es bei der Grüenthaler Brücke geschehen war, die bei der Canalausschachtung durch Trockenaushub gewonnenen Bodenmengen unmittelbar verwandt werden. Bei der Herstellung des Levensauer Durchstichs waren aber südlich vom Canal grofse Aushubmassen auf dem Gelände des Gutes Projensdorf abgelagert worden und bildeten, zumal sie zum weitaus grölsten Theil aus Sand bestanden, ein für die Dämme sehr geeignetes Material. Nördlich vom Canal wurden der Unternehmung zwei Entnahmestellen, je eine westlich und östlich des neuen Damms überwiesen. Auch hier eignete sich der Boden auferordentlich für den Zweck, zu dem er verwandt wurde. Unter einer verschieden starken, zwischen 1 m und 4 m an Mächtigkeit wechselnden sandigen Lehmschicht stand nämlich feiner Sand an, und die Mischung dieser beiden Bodenarten, wie sie durch die zur Verwendung gelangten Trockenbagger ohne jede Nachhülfe, ganz

von selbst erfolgte, ergab ein ganz vorzügliches Schüttungsmaterial.

Die Bauunternehmung setzte nördlich vom Canal zwei und auf der Südseite einen Lübecker Trockenbagger in Betrieb. P. den günstigen Bodenverhältnissen wurden ungewöhnlich gute Leistungen erzielt, bei Tagesbetrieb förderte jeder Bagger durchschnittlich 9000 cbm in der Woche, bei Tag- und Nachtbetrieb stieg die Leistung auf 15000 bis 16000 cbm. Der Winter 1893/94 war für die Ausführung der Erdarbeiten außerordentlich günstig. Die drei Bagger lagen wegen Frost nur wenige Tage still und erzielten auch im December und Januar noch durchschnittliche Wochenleistungen von je 12000 cbm. Unter diesen Umständen wurde es der Unternehmung nicht schwer, die bedungenen

für den Beton der Pfeilergründungen auf die etwa 18 m über dem Canalwasserspiegel gelegenen Canalufer geschafft werden, und zwar für jedes Widerlager die Materialien für rund 2300 cbm Beton. Die sehr knapp bemessene Zeit erlaubte es nicht, grössere Vorrichtungen hierfür zu treffen. Die in Schiffen ankommenden Kiesmengen, die naturgemäß den Hauptbestandtheil der zu hebenden Massen bildeten, wurden in Wagen geladen, die auf einer zweigleisigen, auf der Canalböschung verlegten und unter 1:1,5 geneigten schiefen Ebene durch eine Locomobile vermittelt eines Schneckenantriebes hochgewunden wurden. Während ein beladener Wagen nach der Baustelle hinauf befördert wurde, ging ein leerer Wagen als Gegengewicht nach dem Schiff hinunter. Der Beton wurde aus 1 Theil Cement,  $3\frac{1}{2}$  Theilen

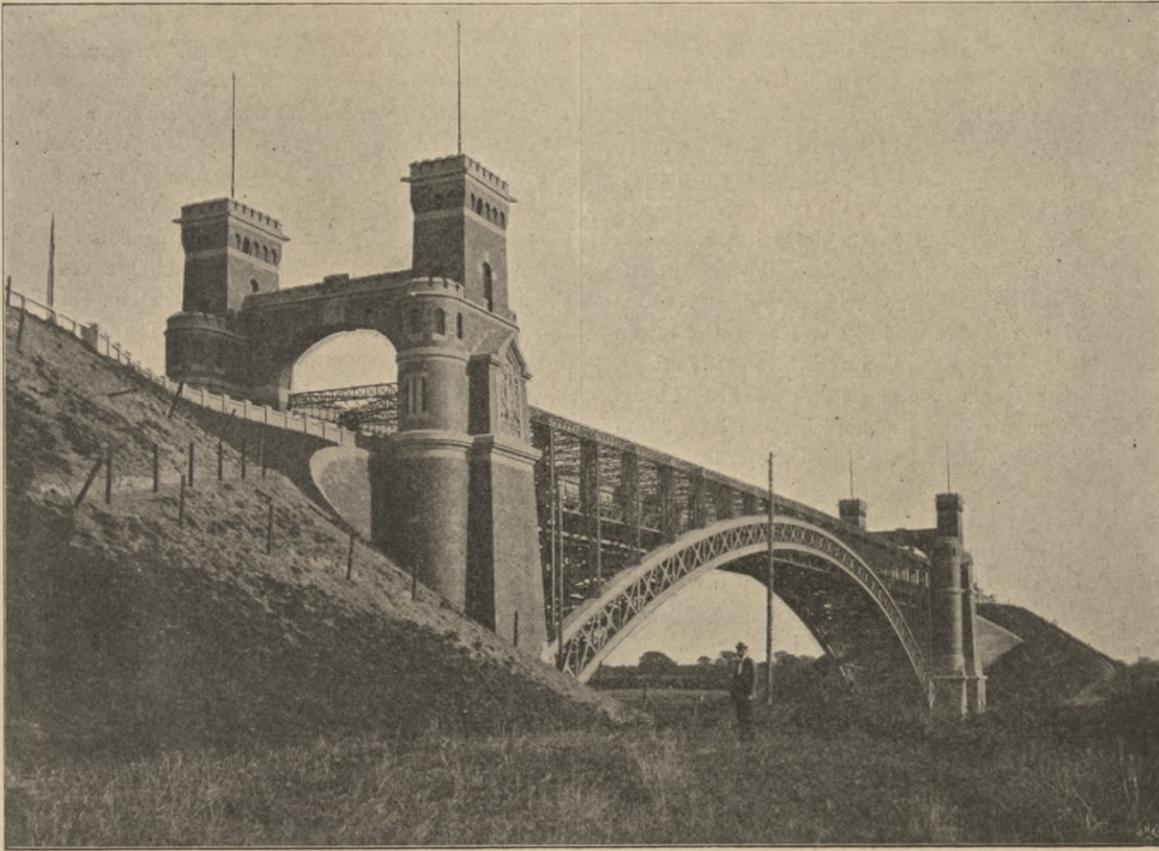


Abb. 293. Hochbrücke bei Levensau.

Fristen inne zu halten. Am 1. October 1894, dem vertraglich festgesetzten Tage, waren die Dammschüttungen auf beiden Seiten des Canals beendet, nachdem die Durchlässe und Wegeunterführungen bereits im Sommer und Herbst 1893 fertig gestellt worden waren.

Die Aufstellung und die endgültige Festsetzung der Entwürfe für die Widerlager und den Ueberbau der Hochbrücke wurde um die Mitte des Jahres 1893 zum Abschluss gebracht. Nachdem Seine Majestät der Kaiser am 24. Juni 1893 in feierlicher Weise den Grundstein zu dem Widerlager auf dem nördlichen Canalufer gelegt hatte, wurde die Ausführung der Pfeilerbauten einschliesslich der Lieferung der Werksteine am 3. August 1893 öffentlich verdungen. Den Zuschlag erhielt die Firma K. Schneider in Berlin. Die Lieferung der übrigen Materialien wurde anderweitig vergeben. In der Zeit von Mitte Mai bis Anfang August 1893 war auf beiden Ufern des Canals ein 15 m breiter Geländestreifen bis zur Höhe von +38,00 abgegraben worden. Diese Arbeit war noch von der Unternehmung v. Kintzel u. Lauser ausgeführt worden, hieran anschliessend begann die Firma K. Schneider zunächst auf der Nordseite mit dem Aushub der Widerlagerbaugrube. Während der Ausführung dieser Arbeit mussten die Baustoffe

Sand und 6 Theilen Kies hergestellt. Der Sand war seiner Zeit beim Aushub des Levensauer Einschnittes gewonnen und für eine etwaige Verwendung besonders gelagert worden, der Kies stammte von den dänischen Küsten, wo er durch das sogenannte Fischen dem Meeresgrunde entnommen wurde. Auch für das Pfeilermauerwerk wurden die Ziegelsteine, die Quader und Abdeckplatten, sowie der Sand und der Cement mit Schiffen auf dem Canal angefahren, und die gesamten, sehr beträchtlichen Massen mussten auf die 18 m über dem Wasserspiegel liegende Baustelle gehoben werden. Der Zeitraum zwischen dem Beginn des Bodenaushubes für die Widerlager und dem Beginn der Mauerarbeiten war lang genug, um besondere Vorkehrungen hierfür zu treffen. Auf jedem Canalufer wurden auf eingerammten Pfählen hölzerne Gerüste erbaut und mit der Baustelle durch Brücken, die den Zwischenraum zwischen den Gerüsten und der Böschungsoberkante überdeckten, verbunden. Auf jedem der beiden Gerüste wurde ein Greiferbagger von Priestmann in Hull aufgestellt, der statt der Kettentrommel mit einer Seiltrommel versehen worden war und zum Heben der Lasten Gußstahl-Drahtseile erhalten hatte. Die Krähne arbeiteten sehr schnell und hoben Lasten bis etwa 2,5 t, nach Einschaltung einer freien Rolle auch

Werksteine bis 3 t Gewicht. Von jedem Krahn waren täglich 20 bis 25 000 Ziegelsteine zu heben, außerdem noch alle 14 Tage eine Ladung Cement von 1500 bis 1800 Sack sowie eine Dampferladung Werksteine von 200 bis 250 Stück, je nach dem Gewicht der einzelnen Quader. Diese Arbeit wurde ohne jede Schwierigkeit geleistet. Die Werksteine wurden mit sogenannten Wölfen, die Ziegelsteine und der Cement in Kasten mit offenen Endwänden, die 400 Steine oder 15 Sack Cement faßten, gehoben. Die in die Fahrzeuge hinabgelassenen Kasten wurden von einer Arbeiterschar von sechs bis acht Mann gefüllt, vom Krahn gehoben und auf einen auf dem Gerüst stehenden Plattformwagen abgesetzt. Mit Hand wurde der Wagen alsdann auf den ein Abfahren nach allen Seiten gestattenden Gleisen entweder nach den Lagerplätzen gebracht oder der später zu beschreibenden Hebevorrichtung, die bei der Aufmauerung der Widerlager verwandt wurde, zugeführt.

Die Mauerarbeiten begannen auf der Nordseite, nachdem der Beton ausreichend erhärtet war, am 30. October 1893, auf der Südseite am 4. December desselben Jahres, also etwa fünf Wochen später. Bis zur Sockelhöhe der Pfeiler wurden die Hintermauerungssteine durch Steinträger nach der jeweiligen Verwendungsstelle getragen, die Quader mit leichten Rüstungen gehoben und versetzt. Für die weiteren Arbeiten wurde auf beiden Canalufeln besondere Rüstungen aufgestellt. Auf beiden Seiten jedes Widerlagerpfeilers wurde ein 30 m hohes, 6 m breites und 42 m langes Gerüst, in fünf Stockwerken aus hölzernem Fachwerk bestehend, erbaut. Diese Gerüste trugen je eine auf einem 38 cm hohen Eisen liegende Laufschiene für eine Krahnbrücke, die bei 33,6 m Stützweite den ganzen Raum zwischen den Gerüsten, also die ganze Grundfläche der Widerlager, überspannte. Die Krahnbrücken konnten in der Richtung senkrecht zum Canal, also gleichlaufend mit der Brückenlängsachse um 30 m verschoben werden. Für das Heben und Senken der Lasten befand sich auf jeder Brücke eine elektrisch angetriebene Laufkatze. Der benötigte Strom wurde in einer am nördlichen Ufer unten am Canal erbauten, mit einem Dampfkessel von 30 qm Heizfläche und einer stehenden Verbundmaschine von zwölf Pferdekräften Nutzleistung ausgestatteten Maschinenanlage geliefert, seine Spannung betrug 120 Volt, die Umdrehungszahl der Dynamomaschine 1030 in der Minute. Die Hebevorrichtungen der Laufkatzen waren so angeordnet, daß eine Last von 2000 kg mit 6 m Geschwindigkeit in der Minute und Lasten von 5000 kg nach Einschaltung eines Vorgeleges mit 4 m Geschwindigkeit gehoben wurden. Die Laufkatze selbst konnte in der Minute 5 bis 6 m seitlich verfahren werden, das Heben der Lasten und das Verfahren der Laufkatzen gleichzeitig erfolgen. Für die Bewegung der Krahnbrücken war Handantrieb vorgesehen, da sie nur selten und dann auch nur auf geringe Längen zu verschieben waren. Die Hebevorrichtungen haben sich sehr gut bewährt, als größte Leistung wurden in zwölf Stunden von einer Vorrichtung 103 Hübe auf rund je 25 m Höhe erreicht. Jeder Hub förderte 2 bis 4 Werksteine oder 30 Sack trocken gemischten Cementmörtel oder 800 Ziegelsteine. Es wurde infolge dessen möglich, im Sommer 1894, als sich noch große Mauerflächen boten, auf jedem Pfeiler täglich 22 000 Ziegelsteine zu vermauern und außerdem die erforderlichen Werksteine zu versetzen. Für die obersten Theile der Thürme waren die Rüstungen nicht hoch genug. Die hier erforderlichen Ziegelsteine und Quader wurden mit den Laufkatzen zunächst auf eine Plattform geschafft, die etwa 5 m über der Brückenfahrbahn hergestellt war, und von dort aus mittels leichter Portalkrahne nach ihrer Verwendungsstelle befördert. Die Portalkrahne liefen auf Sprengwerken, die zwischen die Seitenthürme gestellt waren.

Es ist bereits gesagt worden, daß der zum Mauerwerk verwandte Mörtel trocken gemischt auf die Pfeiler gehoben wurde. Das zum Anmachen des Mörtels und zum Nässen der Ziegelsteine erforderliche Wasser wurde aus dem Canal, der damals noch reines Süßwasser enthielt, entnommen und mittels einer kleinen Worthington-Dampfpumpe von 12,5 cm Cylinder-Durchmesser, die von dem Dampfkessel der Dynamomaschine gespeist wurde, nach zwei eisernen, oben auf den Rüstungen für die Widerlager aufgestellten Bottichen gefördert. Dem Bottich auf der Südseite wurde dabei das Wasser durch eine quer durch den Canal verlegte, auf der Canalsohle aufliegende Rohrleitung zugeführt. Die Pumpe hob das Wasser auf etwa 40 m mit einem Dampfdruck von 4 bis 5 Atmosphären und leistete 0,5 cbm in der Minute. Von den Bottichen führten Rohrleitungen nach den Entnahmestellen auf den Pfeilern.

Die zu den Widerlagern verwandten Werksteine bestehen aus einem rötlichen Granit von ausgezeichneter gleichmäßiger Beschaffenheit, der zu Wanevick in Schweden gebrochen und in Dampfeln angeliefert wurde. Die Werksteine für die Sockel sind in Rustica bearbeitet, die übrigen Werksteine sind glatt und für die Theile oberhalb der Brückenfahrbahn besonders sorgfältig bearbeitet. Für die äußere Verblendung der Pfeiler wurden Verblendschmelzklinker von rothbrauner Farbe, die in einer Ziegelei in Taubenheim bei Meißen hergestellt wurden und 128  $\mathcal{M}$  für das Tausend kosteten, verwandt. Die Gewölbe sind aus besonders festen Klinkern, die aus der Ziegelei Stromsberge in Schweden stammten und auch für die Schleusen in Brunsbüttel und Holtenau verwandt worden sind, hergestellt. Die Hintermauerungssteine lieferte die Bauunternehmung Philipp Holzmann aus ihrer bereits mehrfach erwähnten, bei Rosenkranz am Kaiser Wilhelm-Canal gelegenen Ziegelei.

Die Herstellung der Widerlager erfolgte Dank der guten Betriebseinrichtungen und der günstigen Witterung im Winter 1893/94 sehr schnell. Trotzdem die Arbeit außer 1450 cbm Sparbeton nicht weniger als rund 25 000 cbm Ziegelmauerwerk und 2000 cbm Werksteine umfaßte, waren die Widerlager am 3. December 1894, dem Tage der feierlichen Eröffnung der Brücke durch Seine Majestät den Kaiser, nahezu vollendet, und auch die noch fehlenden geringfügigen Theile wären rechtzeitig fertig geworden, wenn nicht die letzten Reisen des die Werksteine heranschaffenden Dampfers durch starke Nebel sehr in die Länge gezogen worden wären. Am 20. December 1894 wurden die Mauerarbeiten ganz zum Abschluss gebracht.

Die sonst sehr glücklich verlaufene Bauausführung erlitt am 12. Februar 1894 einen ernstlichen Unfall, der zwar Menschenleben nicht in Gefahr brachte, aber für den Verlauf der Arbeiten recht störend war. An diesem Tage stürzte nämlich bei einem schweren, aus West-Nordwest wehenden Sturme das westliche der beiden auf dem Nordufer befindlichen Gerüste, das gerade vollendet war, um. Die Windgeschwindigkeit betrug ungefähr 42 m in der Secunde, der Winddruck entsprach also rund 200 kg auf 1 qm senkrechter Fläche. Der Einsturz erfolgte in der Art, daß das Gerüst in Erdbodenhöhe kantete. Hierbei wurden auf der Windseite die 3 m tief in den Boden eingerammten Pfähle ausgezogen. Die auf einen Pfahl ausgeübte Zugkraft wurde unter Zugrundelegung des genau ermittelten Gewichtes der eingestürzten Rüstung zu rund 45 t berechnet. Der Einsturz der Rüstung wirkte dadurch noch besonders ungünstig, daß die fertig zusammengebaute und gerade zum Anziehen auf das Gerüst unten bereit liegende Krahnbrücke durch die darauf fallenden Theile vollständig zertrümmert wurde. Der Wiederaufbau der Rüstung und die Herstellung der neuen Krahnbrücke



Abb. 294. Hochbrücke bei Levensau. Aufbau des eisernen Ueberbaues. August 1894.



nahm etwa acht Wochen Zeit in Anspruch, und dementsprechend wurde der Fortgang der Mauerarbeiten am nördlichen Widerlager erheblich behindert.

Der eiserne Ueberbau der Levensauer Brücke wurde am 19. Juni 1893 öffentlich verdungen und seine Lieferung und Aufstellung an die Gutehoffnungshütte in Oberhausen als Mindestfordernde übertragen. Da der Entwurf des Ueberbaues nicht vollständig durchgearbeitet war, sondern nur die allgemeine Anordnung und eine Reihe wichtiger Einzelheiten zeichnerisch festgestellt waren, so mußte die ausführende Brückenbauanstalt zunächst mit der zeichnerischen und rechnerischen Bearbeitung des Ueberbaues beginnen, und die eigentlichen Bauarbeiten konnten erst in die Wege geleitet werden, nachdem die Entwurfsarbeiten im Einvernehmen mit der Kaiserlichen Canal-Commission zu einem gewissen Abschluss gebracht worden waren. Infolge dessen begann die Aufstellung des Gerüsts, auf denen die Lager zusammengesetzt worden sind, erst am Mitte November 1893. Am 12. November wurde mit dem Einrammen der ersten Pfähle begonnen. Entsprechend der Zahl der Hauptknotenpunkte der Bogenträger wurde das Gerüst aus 20 Jochen gebildet. Von den mittleren Jochen wurden je zwei, wie aus der Text-Abb. 294 zu ersehen ist, durch Zangen und Verkreuzungshölzer zu einem Gerüstpfeiler verbunden. Die so gebildeten neun Pfeiler und zwei Endjoche wurden unter dem Untergurt der Brücke durch einen hölzernen Fachwerkbogen mit einander verbunden, und der letztere diente zugleich dazu, die Bogenschalung aufzunehmen. Zur Unterstützung der Joche, die in der Brückenmitte aus dreifach übereinander gestellten Ständern bestanden, wurden im ganzen 388 Pfähle in die Canalsole und die Böschungen gerammt. Die Länge der im Canalbett stehenden Pfähle betrug 8 m, sie waren auf 3,5 m Länge in den Boden eingerammt. Da die Schifffahrt auf dem Canal während des Brückenbaues nicht gesperrt werden durfte, wurden in dem Gerüst zwei Schifffahrtsöffnungen von je 11 m Weite angelegt, die mit Leitwerken ausgestattet wurden, um das Gerüst gegen Beschädigungen durch dagegen fahrende Schiffe zu sichern. Die diese Schifffahrtsöffnungen begrenzenden Jochwände mußten geneigt angeordnet werden, weil sonst die in 8,6 m Entfernung von einander befindlichen Hauptknotenpunkte des Ueberbaues auf die Wände selbst nicht hätten abgestützt werden können. Die Breite des Gerüsts, quer zur Brückenachse zwischen den Mitten der äußersten Ständer gemessen, betrug 17,6 m. Trotz dieser großen Breite waren die Pfeiler noch an Dalben verankert, die in 9 m Entfernung von dem Gerüst zu beiden Seiten desselben hergestellt worden waren. Die Verankerungen griffen in ein Drittel der Gerüsthöhe an. Die beiden äußersten Pfähle jeder Jochwand waren über den hölzernen Fachwerkbogen hinaus so weit nach oben verlängert, daß sie zur Unterstützung zweier je aus einem 38 cm hohen **I**Eisen gebildeten, von Widerlager zu Widerlager wagerecht durchgehenden Balken benutzt werden konnten. Auf diesen Balken befestigte Eisenbahnschienen dienten als Laufbahn für zwei Portalkrahne, die zum Verfahren und Versetzen der Einzeltheile des Ueberbaues dienten. Die Krahnfahrbahn lag ungefähr in Höhe des Bogenuntergurtes, ihre Spurweite betrug 17,5 m.

In der Höhe + 39,50 war in die Rüstung auf jedem Canalufer eine hölzerne Plattform eingebaut, auf der ein eiserner Auslegerkrahne stand. Die mit der Eisenbahn nach der Stadt Kiel beförderten, im dortigen Hafen auf Prähme übergeladenen und in diesen nach der Brückenbaustelle geschafften Eisentheile wurden mit Hilfe dieser Krahne gehoben und zunächst auf der entsprechend groß und tragfähig angelegten Plattform gelagert. Von hier aus geschah die

weitere Hebung und das Versetzen durch einen der bereits erwähnten beiden Portalkrahne. Auch seitens der Gutehoffnungshütte war elektrischer Antrieb für die Krahne gewählt. Die Stromerzeugung fand in einer auf dem südlichen Canalufer in Höhe des 1 m über dem gewöhnlichen Canalwasserstande liegenden Banketts errichteten Maschinenanlage statt. Diese bestand aus zwei vollständig gleichen und von einander vollkommen unabhängigen Kessel- und Maschinensätzen, von denen jeder Satz imstande war, den erforderlichen Strom zu erzeugen. Jede der beiden Dampfmaschinen leistete 25 Nutzpferdekkräfte, und die zugehörige Dynamomaschine lieferte bei 450 Umdrehungen in der Minute 65 Ampère Strom von 210 Volt Spannung. Bei den Auslegerkrahnen wurde sowohl die Hebung der Lasten wie die Bewegung des Auslegers auf elektrischem Wege bewirkt, bei den Portalkrahnen erfolgte das Heben der Lasten und die Fortbewegung der Krahne elektrisch, die Seitenbewegung der Katzen jedoch von Hand. Jeder Portalkrahne war übrigens mit zwei Katzen, die vollständig unabhängig von einander benutzt werden konnten, versehen.

Anfang April 1894 war das Gerüst im wesentlichen fertig gestellt, und als am 25. April die ersten Theile der Bogenuntergurte nach der Baustelle kamen, waren auch die Krahne und die Stromerzeugungsanlage betriebsbereit. Die Anlieferung der Eisentheile, deren Zusammenbau in der Werkstatt in ähnlicher Weise erfolgt ist, wie es bei der Erörterung der Grünenthaler Brücke beschrieben wurde, geschah sehr rasch; denselben schnellen Fortgang konnten aber Dank der guten Baubetriebseinrichtungen auch die Aufstellungsarbeiten nehmen. Bereits am 15. Mai wurde mit dem Nieten begonnen, und am 15. September war der Ueberbau so weit aufgestellt, daß die ersten Holztheile der Fahrbanntafel aufgebracht werden konnten. Das Ablassen der Bogen auf die Auflager wurde am 13. October vorgenommen, nachdem die Bogenschuhe und die Auflager-Gelenkschalen sorgfältig gereinigt, blank geputzt und eingefettet worden waren. Um das Eindringen von Regen und Schmutz in den Zwischenraum zwischen den beiden Gelenktheilen zu verhindern, wurde die Fuge durch einen eingelegten Gummischlauch abgedichtet.

Die Probelastung der Brücke erfolgte am 20. November 1894, die landespolizeiliche Abnahme einschl. der Eisenbahn- und Landstraßen-Verlegung am 30. November. Der Verkehr über die Brücke wurde am 3. December durch Seine Majestät den Kaiser in Gegenwart eines zahlreichen Gefolges feierlich eröffnet. Die noch ausstehenden, geringfügigen Arbeiten wurden im Laufe des December beendet, die Beseitigung der Gerüste wurde in den folgenden Wintermonaten ausgeführt, sodafs im April 1895 mit der Vertiefung der unterhalb und in der Nähe der Brücke noch auf der Höhe + 15,77, also 5 m über der planmäßigen Höhenlage liegenden Canalsole begonnen werden konnte. Diese Arbeit wurde im Mai zu Ende geführt, ebenso gelang es, die alte Eisenbahndrehbrücke und die Brücke im Zuge der ehemaligen Landstrasse so zeitig zu entfernen, daß auch an diesen beiden Stellen die noch ausstehenden Erdarbeiten bis zur Betriebseröffnung des Canals vollständig bewirkt werden konnten.

Für die Herstellung der Levensauer Brücke standen einschl. der Bearbeitung der Entwürfe nur zwei und ein halbes Jahr zur Verfügung, davon entfällt auf die Zeit zwischen dem Beginn der Arbeiten im Juni 1893 und der Inbetriebnahme der Brücke am 3. December 1894 kaum ein und ein halbes Jahr. Es gereicht der deutschen Technik sicherlich zu hohem Ruhme, daß es ihr gelungen ist, ein so bedeutendes Bauwerk in so kurzer Zeit fertig zu stellen, insbesondere aber verdienen die oben genannten Unternehmer Anerkennung, die ein jeder an seinem Theile Hervorragendes geleistet haben.

Allen Beteiligten war die rege Theilnahme, die Seine Majestät der Kaiser dem Brückenbau jederzeit entgegenbrachte, eine große Freude und hohe Ehre. Es ist oben bereits mitgetheilt worden, daß Seine Majestät sowohl den Grundstein zu dem Bauwerk gelegt, wie auch die Betriebseröffnung der Baustelle vollzogen hat, außerdem beehrte Seine Majestät die Brücke noch zweimal, nämlich am 30. December 1893 und am 25. Juni 1894, mit seinem Besuch, wobei Allerhöchst-derselbe von den Fortschritten der Bauausführung Kenntniss nahm. — Die Gesamtkosten der Hochbrücke bei Levensau einschl. der Eisenbahn- und Strafsenverlegung haben rund 4 270 000 *M.* betragen. Davon entfallen auf den Ueberbau rund 1 100 000 *M.*, auf die Widerlagen rund 1 200 000 *M.* Der Ueberbau enthält rund 2780 t Schweifseisen zu je 356 *M.* und rund 333 cbm Eichenholz zu je 150 *M.*, außerdem rund 71 t Gufseisen und rund 40 t Gufsstahl für die Lager.

Der Ueberbau der Levensauer Hochbrücke hat eine um 7 m größere Stützweite als der Grünenthaler Ueberbau, außerdem ist die Fahrbahn breiter und die Verkehrslasten sind schwerer angenommen. Es ist also ohne weiteres klar, daß die Levensauer Brücke ein erheblich größeres Eisengewicht haben muß als die Grünenthaler Brücke. Auffällig ist jedoch die Höhe des Unterschiedes. Das Gewicht der Schmiedeeisentheile beträgt für Grünenthal rund 1235 t, für Levensau rund 2780 t, sodafs das Verhältniß der Gewichte 1:2,25 ist. Es ist anzunehmen, daß der große Gewichtsunterschied zu einem Theil durch die etwas verwickelte Anordnung der zur Kraftübertragung von der Fahrbahn auf die Bogen dienenden Bauglieder herbeigeführt worden ist, wie solche aus dem Bestreben hervorging, die Formveränderungen der Fahrbahn und der Bogen möglichst von einander unabhängig zu machen.

#### c) Die Eisenbahn-Drehbrücken bei Osterrönfeld.

Hierzu die Abbildungen auf Blatt 46 bis 48.

Die von Neumünster über Rendsburg nordwärts führende zweigleisige Eisenbahn schnitt die Canallinie bei km 61,9. Ihre Schienenoberkante lag auf der Höhe + 29,32, also 9,55 m über dem mittleren Wasserspiegel des Canals. Da sich der auf annähernd derselben Höhe liegende Bahnhof Rendsburg nur wenige Kilometer nördlich von der Kreuzung zwischen Canal und Eisenbahn befindet, und das Gelände verhältnißmäßig tief liegt, so konnte die Ueberführung der Eisenbahn mittels einer Hochbrücke, deren Fahrbahn-Unterkante im mittleren Theil ebenso wie bei Grünenthal und Levensau 42 m über dem mittleren Canalwasserspiegel hätte liegen müssen, garnicht ernsthaft in Erwägung gezogen werden, es konnte von Anfang an nur die Anlegung einer beweglichen Brücke in Frage kommen. Bei der großen Lichtweite, die den Wünschen der Kaiserlichen Marine entsprechend zwischen den Pfeilern vorhanden sein mußte, konnte wiederum nur eine Drehbrücke zur Ausführung gelangen.

Die von Neumünster über Rendsburg führende Eisenbahn hat einen ziemlich lebhaften Personen- und Güterverkehr, im Kriegsfall ist sie die strategisch wichtigste, nordwärts führende Linie der Provinz Schleswig-Holstein. Bei diesen Verhältnissen mußte besonderer Werth darauf gelegt werden, daß einmal die Brückenanlage nach ihrer Anordnung und Einzelausbildung einen möglichst hohen Grad von Betriebssicherheit bietet und daß ferner für den Fall, daß trotz der beim Entwurf und bei dem Betriebe der Anlage aufgewandten Sorgfalt doch eine länger andauernde Störung im Betriebe der Anlage eintreten sollte, die Möglichkeit vorliegt, sowohl den Schiffsverkehr auf dem Canal wie den Eisenbahnverkehr ohne jede erhebliche Beschränkung aufrecht zu erhalten. Die letztere Anforderung schien nur dann in ausreichendem Maße erfüllt werden zu können, wenn statt einer zwei-

gleisigen zwei eingleisige Drehbrücken angelegt wurden und durch Einschaltung von Weichen in die Gleise dafür Sorge getragen wurde, daß auf der zu den Brücken gehörigen Eisenbahnstrecke im Bedarfsfall, also bei Betriebsstörungen an der einen der beiden Brücken, ohne weiteres zu dem eingleisigen Betriebe übergegangen werden kann. Die Anordnung zweier eingleisigen Brücken ergab zugleich noch den Vortheil, daß jede der beiden Brücken leichter wurde als eine zweigleisige und somit das für die Aufrechterhaltung des Schiffsverkehrs auf dem Canal nothwendige Oeffnen einer betriebsunfähig gewordenen Brücke mittels Menschenkraft in hohem Maße erleichtert und beschleunigt wird.

Die Eisenbahnlinie kreuzte den Canal unter einem Winkel von rund 70°. Die für die Brückenanlage nothwendige Verlegung der Linie ist so ausgebildet worden, daß die eine der beiden Brücken westlich, die andere östlich von der alten Eisenbahnlinie liegt, und der Betrieb auf dieser während der Bauzeit nicht gestört wurde. Die Brückenlängsachsen sind gleichlaufend zu einander und unter einem Winkel von 70° gegen die Canallinie angeordnet. Wie die Abb. 1 auf Bl. 46 u. 47 zeigt, beträgt die Entfernung der Brücken von einander — in der Canalachse gemessen — 150 m, und die Gleiskrümmungen, die für den Anschluß der auf den Brücken liegenden Gleisstrecken an die bestehenden Gleise angeordnet werden mußten, haben überall mindestens 420 m Halbmesser erhalten. Etwa 700 m von den Brücken entfernt, sind in die Gleise der Eisenbahn die oben bereits erwähnten Weichen eingelegt.

Den Wünschen der Marine entsprechend haben sämtliche Drehbrücken des Kaiser Wilhelm-Canals, senkrecht zur Canalachse gemessen, eine lichte Durchfahrtsweite von 50 m erhalten. Da die Breite des Canals in der Höhe des mittleren Wasserstandes an allen den Stellen, wo nicht aus besonderen Gründen Verbreiterungen angeordnet werden mußten, nur 66 m beträgt, so mußte, um für den zweiten Arm der Drehbrücke und dessen Bewegung den nöthigen Raum zu gewinnen, ein besonderer Einschnitt in das Ufer gemacht werden. Dadurch ergab sich die Wahl ungleich-armiger Brücken derart, daß der lange Arm die Durchfahrtsöffnung überdeckt und der kurze Arm mit dem weitaus größten Theil seiner Länge über dem festen Lande liegt, gewissermaßen von selbst. Die kreisrund hergestellten Drehpfeiler sind bei allen Brücken auf die Südseite des Canals verlegt. Sie haben in dem oberen, mit senkrechten Begrenzungsflächen versehenen Theil 9 m Durchmesser. Die nördlich von der Canalachse liegenden Pfeiler für die Auflager zur Unterstützung des langen Armes der beweglichen Ueberbauten haben bei beiden Eisenbahndrehbrücken bei Osterrönfeld 5 m Breite und einschl. der halbkreisförmig abgerundeten Köpfe 9 m Länge erhalten. Diese Pfeiler dienen zugleich je zur Unterstützung des einen Endes eines kleineren Ueberbaues, dessen anderes Ende auf dem nördlichen Widerlager der Brücken aufruht. Die Drehpfeiler und der nördliche Auflagerpfeiler liegen symmetrisch zur Canalachse. Da sie einen Theil des Canalquerschnittes in Anspruch nehmen, und deshalb beim Durchfahren von Schiffen durch die Brücken stärkere Wasseranstauungen als sonst in der Canalstrecke auftreten würden, ist der Canal dort um dasselbe Maß, um das er durch die Pfeilereinbauten beschränkt wird, vergrößert worden. Die Abmessungen des nördlichen Auflagerpfeilers sind erheblich größer angenommen, als für die Auflagerung der beiden auf ihm aufruhenden Brückenüberbauten erforderlich gewesen wäre. Die Vergrößerung wurde für nöthig gehalten, weil diese Pfeiler dem Stoß etwa gegenfahrender Schiffe gegenüber ausreichenden Widerstand besitzen müssen. Damit ein solcher Stoß nur in Ausnahmefällen, und auch dann nur

abgeschwächt, von den Pfeilern selbst aufzunehmen ist, sind vor diesen schwimmende, an Pfahlbündeln geführte Leitwerke angebracht. Diese Leitwerke halten alle kleineren Stöße von den Pfeilern fern und verhindern zugleich, daß die Wandungen der Schiffe mit dem unnachgiebigen Pfeilermauerwerk in Berührung kommen. An den Auflagerpfeilern haben die Leitwerke nur eine geringe Länge erhalten, an den Drehpfeilern sind sie jedoch so lang gemacht, daß sie die ausgeschwenkten, gleichlaufend zur Canalachse gerichteten Ueberbauten schützen. Wenn die Brücke eingeschwenkt und für die Ueberfahrt eines Eisenbahnzuges bereit gestellt ist, sind die kurzen Arme des beweglichen Ueberbaues nicht an dem Ende unterstützt, sondern in 3,62 m Entfernung von der Mitte der Endpfosten der als Gitterbalkenträger ausgebildeten Hauptträger. Warum das geschehen ist, das wird bei der Erörterung der beweglichen Ueberbauten und der Einrichtungen zu ihrer Bewegung eingehend dargelegt werden. Hier sei nur darauf hingewiesen, daß an diesen Unterstützungen verhältnismäßig geringe Kräfte auftreten, und dementsprechend die zur Aufnahme der Lager dienenden Pfeiler nur kleine Abmessungen zu erhalten brauchen; in der Breite z. B. konnten sie auf 1,03 m eingeschränkt werden. Das südliche Endwiderlager der Brücke mußte ebenso wie das nördliche in Rücksicht auf den von dem Eisenbahndamm ausgeübten Erddruck kräftig ausgebildet werden. Es ist mit zur Bahnachse gleichlaufenden Flügeln versehen.

Der kurze Arm des beweglichen Ueberbaues dient beim Oeffnen und Schließen der Brücke als Gegengewicht für den längeren Arm, sein Gewicht genügt indessen nicht, um dem des langen Armes die Waage zu halten, und deshalb mußte der kurze Arm an seinem Ende noch künstlich belastet werden. Wenn die Brücke geschlossen ist, dann ruht jeder der beiden Hauptträger der beweglichen Ueberbauten an drei Stellen auf, nämlich auf dem nördlichen Auflagerpfeiler, auf dem Drehpfeiler und auf dem kleinen, in 3,62 m Entfernung von dem Endpfosten des kurzen Armes angeordneten Unterstützungs Pfeiler. Die Hauptträger bilden dann also durchgehende Träger auf drei Stützen. Soll die Brücke geöffnet werden, dann wird sie zunächst auf dem Drehpfeiler angehoben. Das Anheben geschieht mit Hilfe von Druckwasser, das in einen auf dem Drehpfeiler aufgestellten Cylinder hineingelassen wird und einen lothrechtstehenden Kolben aus demselben herausdrängt. Der Kolben trägt den unteren Theil eines Kipplagers, während der obere Theil des Lagers an zwei die beiden Hauptträger des Ueberbaues mit einander verbindenden Querträgern angebracht ist. Sobald Druckwasser in den Cylinder eingelassen wird, hebt sich der Kolben und damit der Ueberbau. Dieser wird dabei zunächst von den Auflagern am Ende des langen Armes abgehoben, während er an den Auflagern am kurzen Arm fest aufliegt. Mit fortschreitender Hebung stützen sich zwei am äußersten Ende des kurzen Armes angebrachte Laufräder auf eine zugehörige Laufschiene, und von diesem Augenblicke an hebt sich der Ueberbau auch von den Auflagern auf dem kleinen Pfeiler ab. Wenn die Hebung beendet ist, dann ruht der Ueberbau nur noch auf dem Kolben der Hubvorrichtung und auf den beiden Laufrädern auf. Dabei ist der Kolben der Hubvorrichtung fast mit dem ganzen Gewicht der Brücke belastet, das am Ende des kurzen Armes angeordnete Gegengewicht ist so bemessen, daß die beiden Laufräder zusammen nur einen Druck von 20 t aufzunehmen haben. Eine Belastung der Laufräder war nothwendig, um jedes Kippen der Brücke um das Lager auf der Hubvorrichtung, wie es durch die Einwirkung von Winddruckkräften und Schneebelastungen auf den langen Arm veranlaßt werden kann, unter allen Umständen zu verhindern. Andererseits mußte

die Belastung der Laufräder thunlichst vermindert werden, weil die mit dieser Belastung steigenden Reibungswiderstände die Bewegung der Brücken um so mehr erschwert hätten, als sie an einem langen Hebelsarm wirken. Die für die Laufräder gewählte Belastung hat sich beim Betriebe der Brücken bewährt.

Die Drehvorrichtungen der Osterröndfelder Brücken brauchten in Rücksicht auf die spitzwinklige Kreuzung der Canal- und der Brückenachse nur so ausgebildet zu werden, daß die beweglichen Ueberbauten um  $70^\circ$  gedreht werden können. Die Bewegung der Brücken wird durch je zwei umgekehrt arbeitende, mit Druckwasser betriebene Flaschenzüge von zweifacher Uebersetzung bewirkt, von denen der eine zum Oeffnen, der andere zum Schließen der Brücke dient. Jeder Flaschenzug besteht aus einem mit dem eisernen Ueberbau der Brücke fest verbundenen Cylinder, einem in diesem Cylinder beweglichen Tauchkolben, zwei Rollenpaaren und einem doppelten Drahtseil. Von den Rollenpaaren ist das eine an dem Cylinderboden, das andere an einem zugleich zur Führung des Kolbens dienenden und mit dem aus dem Cylinder herausragenden Kolbenende fest verbundenen Rollenstuhle angebracht. Das doppelte Drahtseil ist mit dem einen Ende an dem Cylinder und damit auch an dem Brückenüberbau befestigt. Von diesem Befestigungspunkt führt es zunächst über das andere Rollenpaar, dann über das Rollenpaar am Cylinderboden, von dort senkrecht hinunter nach einer Umlenkrolle, die am Brückenüberbau angebracht ist, und dann, wagerecht liegend, weiter nach dem Drehpfeiler. Auf diesem ist für jeden der beiden Flaschenzüge ein mit zwei Rillen versehener, nach einem Halbmesser von 4,36 m gekrümmter und mit dem Pfeilermauerwerk sorgfältig verbundener Seilkranz angeordnet. In die Rillen dieser Seilkranze sind die von den beiden Flaschenzügen kommenden Drahtseilpaare eingelegt und hinter denselben mit dem Pfeilermauerwerk durch kräftige Anker so fest verbunden, daß diese Verankerungen auch den größten, in den Seilen auftretenden Spannungen Widerstand leisten können. Es ist sonach jedes Drahtseilpaar sowohl mit dem Pfeilermauerwerk wie auch mit dem beweglichen Ueberbau verbunden.

Sobald nun ein Tauchkolben durch Einlassen von Druckwasser aus seinem Cylinder herausgedrückt wird, muß sich der über die Flaschenzugrollen laufende Theil des zugehörigen Seilpaares verlängern und gleichzeitig der zwischen dem Drehpfeiler und der Umlenkrolle am Brückenüberbau befindliche Theil um das gleiche Maß verkürzen. Dadurch muß aber die Brücke gedreht werden, sofern der zweite Flaschenzug diese Bewegung zuläßt, und dazu ist nur nöthig, daß sich der Kolben des zweiten Flaschenzuges um dasselbe Maß in seinen Cylinder hineinzieht, um das der erste Kolben herausgedrückt worden ist, denn dann verlängert sich der zum zweiten Flaschenzug gehörige, zwischen dem Drehpfeiler und der am Ueberbau angebrachten Ablenkrolle gelegene Theil des Drahtseil-Paares um dieselbe Länge, um die dieser Theil des zum ersten Flaschenzuge gehörigen Seilpaares sich verkürzt hat. Soll der zweite Kolben sich in seinen Cylinder hineinziehen können, dann muß das in dem Cylinder befindliche Wasser aus demselben entweichen können, es muß also gleichzeitig der eine Cylinder mit dem Druckwasser, der andere Cylinder mit der Luft bezw. dem Abwasser in Verbindung gesetzt werden. Wird dem in den Abb. 3 und 9 auf Bl. 46 und 47 oben gezeichneten Cylinder Druckwasser zugeführt, dann wird die Brücke geöffnet; erhält der unten gezeichnete Cylinder die Druckwasserzuführung, dann schließt sich die Brücke. Die beiden Kolben der Drehvorrichtung sind durch ein über eine Rolle laufendes Drahtseil derartig mit einander verbunden, daß der in seinen

Cylinder hineingehende Kolben sich nicht schneller bewegen kann als der aus seinem Cylinder herausgedrückte Kolben. Die für das Öffnen und Schließen der Brücke nothwendige abwechselnde Verbindung der Cylinder mit dem Druckwasser und dem Abwasser wird mit Hilfe einer auf dem Brückenüberbau aufgestellten Steuerungsvorrichtung bewirkt, die zugleich so ausgebildet ist, daß von ihr aus das zum Anheben des Ueberbaues erforderliche Druckwasser in die auf dem Drehpfeiler aufgestellte Hubvorrichtung eingelassen und ebenso zum Senken des Ueberbaues wieder abgelassen werden kann.

Zur Erzeugung des für den Betrieb der beiden Drehbrücken bei Osterröföfeld erforderlichen Druckwassers ist in nächster Nähe der östlichen der beiden Brücken eine entsprechend ausgerüstete Maschinenanlage errichtet worden, deren Accumulator mit den Steuerungsvorrichtungen auf den Brücken durch Rohrleitungen in Verbindung steht. Da diese Verbindungsleitungen ebenso wie die Leitungen und Cylinder auf der Brücke nicht ausreichend gegen Frost geschützt werden konnten, wird zum Bewegen der Brücken nicht Druckwasser, sondern eine aus vier Theilen Wasser und fünf Theilen Glycerin zusammengesetzte Flüssigkeit benutzt, die auch bei dem stärksten, in Schleswig-Holstein vorkommenden Frost nicht gefriert. Da diese Flüssigkeit ziemlich theuer ist, wird sie von den Hebe- und Drehcylindern nach Behältern zurückgeleitet, die im Accumulatorenthurm der Maschinenanlage aufgestellt sind. Aus diesen Behältern entnehmen die Presspumpen die für die Bewegungen der Brücken erforderlichen Mengen von Pressflüssigkeit. Wenn im folgenden von Druckwasser oder Abwasser die Rede ist, so ist damit stets diese Flüssigkeit gemeint.

Die eisernen Ueberbauten. Jede der beiden Osterröföfelder Eisenbahnbrücken dient nur für ein Gleis, und die zwischen der Schienenoberkante und dem Canalwasserspiegel zur Verfügung stehende reichliche Bauhöhe gestattete es, die Fahrbahn auf die Hauptträger zu legen. Deshalb konnte die Entfernung der Hauptträger beliebig gewählt werden, und da wäre eine verhältnißmäßig geringe Entfernung derselben insofern vortheilhaft gewesen, als dann am Gewicht der Fahrbahn gespart worden wäre. Andererseits bedingt die Standicherheit der geschlossenen Brücke und die Widerstandsfähigkeit der von den Auflagern abgehobenen Brücke gegen die seitlichen Kraftwirkungen der Stürme eine größere Entfernung der Hauptträger, auch muß über dem Drehpfeiler genügend Raum zwischen den Hauptträgern sein, weil hier die Hubvorrichtung mit ihrem zur Aufnahme fast des ganzen Brückengewichtes und sehr erheblicher seitlicher Kräfte dienenden Tragwerk aufgestellt werden muß. Um diese, einander entgegengesetzten Forderungen soweit möglich mit einander zu vereinigen, sind die beiden Hauptträger der beweglichen Ueberbauten nicht senkrecht gestellt worden, sondern sie haben die Neigung  $1:1/4$  gegen die Lothrechte erhalten. Die Entfernung der Schwerpunkte der Obergurte beträgt dabei rund 2,5 m, und diese geringe Entfernung ermöglichte es, die das Schienengleis tragenden, aus U-Eisen, N.-Profil Nr. 30, bestehenden Querschwellen ohne Vermittlung irgend welcher Zwischenglieder auf die Gurte zu legen und dadurch nicht nur am Brückengewicht zu sparen, sondern auch weniger Nietarbeit und weniger Anstrichflächen zu erhalten. Andererseits blieb die Entfernung der Untergurte groß genug, um hier eine gegen die wagerechten, auf die Brücke zur Wirkung gelangenden Kräfte ausreichend widerstandsfähigen Verband herstellen zu können.

Die Hauptträger haben die größte Höhe dort erhalten, wo die größten Biegemomente auftreten, das ist über dem Drehpfeiler. Wie die Abb. 2 auf Bl. 46 u. 47 zeigt, laufen die Gurte der Hauptträger auf 4,38 m zu beiden Seiten

der dortigen Auflager mit einander gleich, dann steigt der Untergurt nach beiden Brückenenden an, während der Obergurt wagerecht liegt. Ueber dem Drehpfeiler beträgt die Entfernung zwischen den Schwerpunkten des Ober- und Untergurtes, gemessen in der Trägerebene, 6,25 m, bei dem Endposten des kurzen Armes geht dieses Maß auf 4,52 m und bei dem Endposten des langen Armes auf 3,55 m zurück. Die Trägerform schließt sich also der Momentencurve nur in geringem Maße an, hierauf wurde aber auch kein Werth gelegt, da damit wesentliche Vorthelle nicht zu erreichen gewesen wären, wohl aber die Herstellung der Hauptträger erschwert worden wäre. Für die Wandglieder ist das einfache Dreieckssystem gewählt worden. Sämtliche Schrägstreben sind steif ausgebildet, trotzdem ein Theil derselben niemals Druckspannungen erhalten kann; an dem ganzen Ueberbau ist kein einziges Glied vorhanden, das nur zur Aufnahme von Zugkräften geeignet wäre. Der Obergurt wird zwischen den Knotenpunkten sowohl durch das Gewicht der Fahrbahn als auch durch die Verkehrslasten auf Biegung beansprucht. Um diese Biegungsspannungen nicht zu groß werden zu lassen, sind in den Knotenpunkten des Untergurtes Pfosten angebracht, die den Obergurt in der Mitte zwischen je zwei Knotenpunkten unterstützen, also die Biegemomente auf ein Viertel ihrer sonst entstehenden Größe herabmindern. Ebenso sind die Untergurte in der Mitte jedes Feldes aufgehängt, um die Durchbiegung und die Beanspruchung durch das Eigengewicht des Gurtes selbst zu vermindern.

Die Gurte haben einen trogförmigen Querschnitt erhalten, wie aus den Abb. 4 u. 5 auf Bl. 46 u. 47 zu ersehen ist. Die Vermehrung oder Verminderung der Querschnittsfläche — je nach den von den einzelnen Stäben aufzunehmenden Spannungen — ist theils durch Hinzufügen oder Weglassen von Stehblechen, theils durch Vergrößerung oder Verkleinerung der Zahl der Kopfbleche erfolgt. Wo jede der beiden lothrechten Wände des trogförmigen Gurt-Querschnittes nur von einem Blech gebildet wird, ist dieses 13 mm stark, um der unter der Einwirkung von Druckbeanspruchungen auftretenden Neigung zum Falten entgegenzuwirken. In der Nähe der Brückenmitte sind doppelte Stehbleche, in der Brückenmitte selbst dreifache Stehbleche verwandt. Dadurch wurde einmal die Zahl der Kopfbleche vermindert, dann aber ist es auch vortheilhaft, in denjenigen Punkten, wo der Spannungszuwachs am größten ist, den Querschnittszuwachs in möglichst enge Verbindung mit den Anschlußblechen der Wandglieder zu bringen. Um die Gurtquerschnitte gegen Durchbiegungen in senkrechter Richtung zu versteifen, sind die abstehenden Enden der Stehbleche mit einem Winkeleisen gesäumt. Diese Winkeleisen sind durch Gitterwerk aus Flacheisen mit einander verbunden. Die Höhe der Stehbleche ist bei dem Untergurt zu 400 mm, bei dem Obergurt aber, um das Widerstandsmoment gegen lothrecht wirkende Kräfte wegen der Belastung zwischen den Knotenpunkten zu vergrößern, zu 500 mm gewählt. In einigen Feldern des langen Armes sind aus demselben Grunde Flacheisen auf die abstehenden Schenkel der Saumwinkel gelegt; in anderen Feldern, in denen diese Flacheisen auch vorhanden sind, haben sie nur den Zweck, die Querschnittsfläche des Gurtes um ein geringes zu vergrößern.

Die Schrägstreben der Hauptträger haben sämtlich I-förmigen Querschnitt. Er besteht bei einer Anzahl Streben nur aus vier Winkeleisen und einem Stehblech, bei der Mehrzahl der Streben mußte dieser Querschnitt jedoch durch Auflegen von Kopfblechen verstärkt werden. Die Kopfbleche stoßen stumpf gegen die Knotenbleche an den Gurten ab und sind durch aufsen aufgelegte Decklaschen angeschlossen,

sodafs die Anschlusnieten doppelschnittig wirken. Der über dem Mittelaufleger vorgesehene Doppelpfosten, an den die beiden Querträger angeschlossen sind, die das Gewicht der angehobenen Brücke auf die Hubvorrichtung übertragen, hat einen kastenförmigen Querschnitt erhalten. Die beiden, in 90 cm Entfernung von einander angeordneten I-förmigen Pfosten sind durch Bleche mit einander verbunden, in denen länglich runde, mit Flacheisen gesäumte Oeffnungen angebracht sind, die das Vernieten der Pfosten ermöglichen. Durch kreuzweise aufgenietete Flacheisen sind die Bleche gegen Falten versteift.

Zur Unterstützung der Eisenbahnschienen dienen, wie oben bereits angegeben worden ist, eiserne, aus U-Eisen, Normal-Profil Nr. 30, gebildete Querschwellen. Dieselben sind der Neigung der Hauptträger entsprechend an den Enden schräg abgeschnitten, daselbst durch ein aufgenietetes, 10 mm starkes Blech verstärkt und mit Hilfe von Winkeleisen an die Deckbleche der Hauptträger-Obergurte angeschlossen. Die Eisenbahnschienen liegen vermittelst Unterlagsplatten auf den I-Eisen. Die Unterlagsplatten und die U-Eisen sind mit einander vernietet, die Schienen werden durch Klemmplättchen, die neben dem Stege der U-Eisen durch Schraubenbolzen befestigt sind, auf den Unterlagsplatten gehalten. Um die beim Befahren der Brücke in der Richtung des Gleises wirkenden Kräfte, die die Querschwellen umzukippen streben, unschädlich zu machen, sind die über den Obergurt-Knotenpunkten liegenden Querschwellen durch Knaggen gegen die Gurte abgesteift. Der Raum zwischen den Schienen ist mit eichenen Bohlen abgedeckt. Neben den Schienen, jedoch in dem für den Spurkranz nöthigen Abstände, liegt je eine, 20 cm breite, 14,5 cm hohe und mit einem Winkeleisen gesäumte Bohle, die Bohlen dazwischen sind nur 5 cm stark und ruhen auf 9,5 cm starken, auf die oberen Schenkel der U-Eisen aufgeschraubten Futterhölzern. Ausserhalb der Schienen befinden sich Laufgänge, die Entfernung zwischen den Brückengeländern beträgt 4,53 m. Die Laufgänge bestehen aus eichenen Längsbohlen von 5 cm Stärke, die durch eine 12 cm starke Saumbohle begrenzt werden und theils auf den U-Eisen, N.-Pr. Nr. 30, theils auf mit diesen vernieteten, wagerechten Winkeleisen von 80-80-10 mm Stärke aufrufen. Aus der linken Hälfte der Abb. 1 Bl. 48 ist die Anordnung der Fahrbahn zu ersehen, die rechte Hälfte der Abbildung zeigt die Auskrugung, auf der das in der Abb. 5 auf Bl. 46 und 47 dargestellte Wellblechhäuschen steht, in dem die Steuervorrichtung für das Heben und Senken und das Oeffnen und Schliessen der Brücke untergebracht ist. Die Knotenpunkte 14 des langen und 8 des kurzen Armes liegen dem Doppelpfosten über dem Drehpfeiler zunächst.

An dem Ende des kurzen Armes mußte noch eine Vorrichtung getroffen werden, durch die erreicht wird, dafs die auf dem südlichen Widerlager der Brücke und die auf dem beweglichen Ueberbau liegenden Eisenbahnschienen genau Kopf vor Kopf liegen, wenn der Ueberbau auf seine Auflager abgesenkt und die Brücke für die Ueberfahrt von Zügen bereit ist. Die Eisenbahn-Drehbrücken werden nur geschlossen, wenn sie von einem Zug benutzt werden sollen; während der übrigen Zeit sind sie geöffnet, und dann fällt ihre Längsachse annähernd mit der Ost-West-Richtung zusammen. Die Folge hiervon ist, dafs der eine der beiden Hauptträger-Untergurte den Sonnenstrahlen ausgesetzt ist, während der andere im Schatten der Fahrbahn liegt. Die Obergurte liegen stets im Schatten und erwärmen sich deshalb auch gleich. Die ungleiche Erwärmung der Untergurte führt eine Verkrümmung der Brücke im Grundrisse herbei. Wenn die Brücke geschlossen und der lange Arm so eingestellt wird, dafs an seinem Ende Schienenkopf vor Schienen-

kopf tritt, dann müssen die Schienenköpfe am Ende des kurzen Armes um ein mehr oder weniger bedeutendes Mafs seitlich von den Köpfen der auf dem Pfeiler befestigten Schienen liegen, sodafs die Brücke nicht ohne weiteres befahrbar ist. Um die Schienenköpfe auch hier genau vor einander zu bringen, ist am Ende des kurzen Brückenarmes ein bewegliches Gleisstück angeordnet, das sich um einen Bolzen drehen kann. Dieses Gleisstück ist auf einem aus U-Eisen gebildeten Rahmen, dem Pendelschlitten, befestigt, an dessen dem Drehpfeiler zu gelegenen Ende sich der Drehbolzen befindet. An dem anderen Ende ist zwischen dem Pendelschlitten und dem Ueberbau eine Spiralfeder angebracht, die den Schlitten auch bei der stärksten Verbiegung der Brücke soweit über seine mittlere Lage hinausschiebt, dafs er gegen einen mit dem Landpfeiler verbundenen Anschlag anstossen muß und von demselben unter Zusammenpressung der Spiralfeder in die richtige Lage geschoben wird. Die Abb. 2 Bl. 48 zeigt einen Querschnitt durch die Fahrbahn am kurzen Brückenarm und läfst nicht nur den Pendelschlitten und seine Unterstützung, sondern auch die Anordnung der Fußwege und die Deckung des Zwischenraumes zwischen den Fußwegen und dem Schlitten erkennen. Aus der Abb. 3 auf Bl. 46 u. 47 ist der Grundrifs des Pendelschlittens zu ersehen. Durch eine Verriegelung wird der Pendelschlitten noch gegen Bewegungen während der Ueberfahrt eines Eisenbahnzuges gesichert. Bei der Drehung des Pendelschlittens muß die Laschenverbindung der Schienen in der Nähe des Drehbolzens soviel nachgeben, als zur Drehung des Schlittens nothwendig ist.

Infolge der Anordnung des Pendelschlittens erhält das Gleis beim Uebergang von dem südlichen Landpfeiler auf die Drehbrücke zwei Knicke, den einen bei dem Uebergange selbst, den anderen am Drehbolzen des Schlittens. Dieser zweite Knick ist der stärkere, er entspricht bei 12 m Länge des Schlittens und der Annahme, dafs der Wärmeunterschied der beiden Hauptträger-Untergurte 33° Celsius beträgt, einem Winkel von 31,5 Minuten, während der Winkel bei dem schwächeren Knick nur 20,3 Minuten beträgt. Zu weiteren Mafsnahmen gaben diese Knicke keine Veranlassung, zumal die Brücke aus Rücksichten auf die Betriebssicherheit nur langsam befahren werden darf. Denkt man sich statt der doppelt gebrochenen Gleismittellinie zwei Krümmungen von 600 m Halbmesser eingelegt, so würde die Grade zwischen den Gegenkrümmungen noch immer 12 m lang sein und die Abweichung der Knickpunkte von den Krümmungen nur 6,3 bzw. 2,6 mm betragen. Es wurde deshalb für genügend erachtet, die westliche Schiene an dem Knick bei dem Drehbolzen um 10 mm nach Westen und die östliche Schiene an dem Uebergang von der Brücke auf den Pfeiler um 5 mm nach Osten zu verschieben, um dadurch solche Spurerweiterungen zu erzielen, dafs sich die Locomotiven und Wagen zwanglos durch diese Gleisstrecke hindurch bewegen können.

Die beiden Hauptträger des beweglichen Ueberbaues sind durch Quer- und Längsverbände gegen einander ausgesteift. Die Querverbände bestehen, wie es z. B. die Abb. 4 auf Bl. 46 u. 47 zeigt, im allgemeinen aus zwei über einander liegenden Kreuzen, nahe den Brückenenden ist jedoch wegen der dort geringeren Trägerhöhe nur ein Kreuz angeordnet. Die Stäbe der Kreuze bestehen entweder aus einem oder aus zwei mit einander vernieteten Winkeleisen, die so gestellt sind, dafs die sich kreuzenden Stäbe ohne gegenseitige Berührung an einander vorbeikommen. Die beiden der Brückenmitte zunächst liegenden Querverbände weichen in der Ausbildung von den übrigen ab, weil in ihnen gröfsere Kräfte übertragen werden. Wenn die Brücke geschlossen ist und auf ihren Auflagern aufruft, dann muß der auf den oberen

Theil der Hauptträger und auf die Fahrbahn wirkende Winddruck auf den Untergurt und von diesem auf die Auflager übertragen werden. Diese Uebertragung wird für den mittleren Theil des beweglichen Ueberbaues von den beiden, dem Mittelaullager der Brücke benachbarten Querverbänden ausgeführt. Ist die Brücke angehoben, dann ruht sie auf dem Drehzapfen, und dieser hat auch die wagerechten, auf die Brücke einwirkenden Kräfte, die theils durch den Winddruck, theils durch den Seilzug der Drehvorrichtung der Brücke hervorgerufen werden, zu übernehmen. Soweit diese Kräfte auf den Untergurt des beweglichen Ueberbaues zur Wirkung gelangen, müssen sie wiederum von den beiden, in Frage stehenden Querverbänden aufgenommen und nach dem Obergurt bezw. den Querträgern, die der Hubvorrichtung als Angriffspunkt dienen, weiter geleitet werden. Den größeren Kräften entsprechend, sind auch die Abmessungen der einzelnen Theile dieser beiden Querverbände vergrößert worden.

Die Abb. 1 Bl. 48 zeigt in ihrer linken Hälfte den zum langen, in ihrer rechten Hälfte den zum kurzen Brückenarm gehörigen Querverband. Zu bemerken ist zu dieser Abbildung noch, daß die einander kreuzenden Stäbe je aus zwei U Eisen, auf deren Flansche Flacheisen aufgenietet sind, gebildet sind. Die U Eisen kehren die Stege gegen einander, sie sind in der Stabmitte am weitesten von einander entfernt und durch auf die Flanschen genietete Flacheisen gegen einander versteift.

Der bewegliche Ueberbau hat zwei Längsverbände, den einen in Höhe des Obergurtes, den anderen in der Ebene des Untergurtes. Beide Längsverbände waren ursprünglich nach einem einfachen Dreieckssystem angeordnet. Da aber nachträglich angestellte Rechnungen ergaben, daß bei dieser Anordnung recht erhebliche Nebenspannungen in den Gurten auftraten, sind beide Längsverbände abgeändert und mit gekreuzten Schrägstreben versehen worden. Die Schrägstreben des oberen Windverbandes

bestehen aus zwei mit einander vernieteten Winkeleisen, sie sind nicht nach der Mitte der Gurte geführt, sondern ihre Lage ist so gewählt worden, daß die Knotenbleche möglichst kurz wurden. Da die Gurte der beiden Hauptträger in der Entfernung der die Eisenbahnschienen tragenden Querschwellen durch diese zusammengehalten werden, so können aus dem außerhalb der Mitte der Gurte erfolgenden Angriff der Schrägstrebenkräfte Nachteile nicht entstehen, und deshalb war in dem vorliegenden Fall die getroffene Anordnung zulässig. Die Schrägstreben sind übrigens auch mit den über ihnen liegenden Querschwellen vernietet. In der Mitte der Brücke und zwar zwischen den beiden Querverbänden, in denen die Querkräfte aus dem Untergurt nach dem Obergurt übertragen werden, ist der obere Längsverband durch eine volle Blechwand ersetzt. Diese Blechwand ist jedoch über den Raum zwischen den beiden Hauptquerträgern nicht durchgeführt, um diesen Raum, in dem sich ein sehr wesentlicher Theil der Vorrichtung zur Ueberführung des Druckwassers von dem Drehpfeiler auf den beweglichen Ueberbau und zur Zurückleitung der gebrauchten Pressflüssigkeit befindet, nicht unzugänglich zu machen. Die Abdeckung dieses Raumes ist auch nicht nöthig, weil die Querkräfte durch die Stehbleche der Querträger auf den Drehzapfen übertragen werden. Die

wagerechte Blechwand ist durchlöchert, damit etwa auf sie gelangendes Regenwasser abfließen kann, und mit den Untergurten der eisernen Querschwellen des Schienengleises vernietet.

Die Schrägstreben des unteren Längsverbandes sind nach der Mitte der Gurte geführt, weil einmal die Spannungen des Untergurtes durch Winddruck bedeutend größer sind als die des Obergurtes und außerdem Verbindungen der beiden Untergurte nur an den Knotenpunkten vorhanden sind. In der Mitte der Brücke mußte der untere Längsverband eine solche Anordnung erhalten, daß für das Tragwerk der Hubvorrichtung der nöthige Raum verblieb. Die Abb. 3 auf Bl. 46 u. 47 läßt erkennen, in welcher Weise der Längsverband dort ausgebildet ist. Die einzelnen Stäbe desselben bestehen aus Blechträgern von annähernd der Höhe des Untergurtes. In den beiden anschließenden Feldern des kurzen Armes mußten die Drehcylinder mit ihrem Zubehör

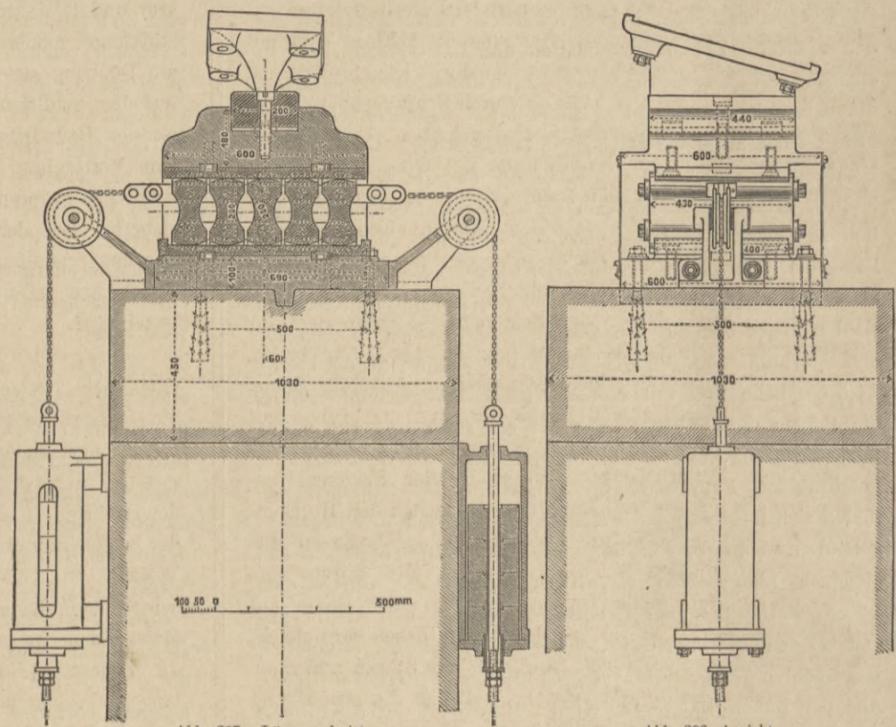


Abb. 295. Längenschnitt.

Abb. 296. Ansicht.

Abb. 295 u. 296. Auflager des kurzen Brückenarmes.

und die Umlenkrollen gelagert werden, und außerdem mußte Vorsorge getroffen werden, daß die unter Umständen recht erheblichen, von den Drahtseilen auf die Brücke ausgeübten Kräfte nach dem Drehzapfen übertragen werden können. Die Abb. 3, 8 u. 9 auf Bl. 46 u. 47 zeigen die Lagerung der Drehvorrichtungen. In dem einen Feld ist zur Uebertragung der Kräfte ein Kreuz von Schrägstreben angeordnet, in dem anderen Feld ist zwischen die Untergurte der Hauptträger eine volle, 11 mm starke Blechwand eingebaut.

Die Auflager auf dem Drehpfeiler und dem nördlichen Auflagerpfeiler sind als Kipplager ausgebildet und bestehen aus einem mit den Hauptträgern fest verbundenen Obertheil und dem auf den Pfeilern liegenden Untertheil. Da die Auflager zeitweise keine Belastung haben, mußten die Untertheile durch Steinschrauben mit den Auflagerquadern verbunden werden, um sie gegen Verschiebungen zu sichern. Der auf den Pfeilern befindliche Theil der Auflager besteht aus dem Grundkörper und einem mit Hilfe von Keilen in seiner Höhenlage verstellbaren Einsatzstück. Bei den Auflagern auf dem Drehpfeiler, vier an der Zahl, nämlich zwei für die geschlossene und zwei für die geöffnete Brücke, haben die Untertheile eine der Trägerneigung entsprechende geneigte Oberfläche erhalten. Infolge dessen sucht der Auf-

lagerdruck die Untertheile in der Richtung quer zur Brückenlängsachse zu verschieben. Ein Gleiten der Unterkörper auf den Auflagerquadern kann dadurch nicht hervorgerufen werden, da die Reibung zwischen diesen beiden Theilen zu groß ist und die Auflager überdies etwas in die Quadern eingelassen sind. Dagegen liegt die Möglichkeit vor, daß Theile der Drehpfeiler unter dem schräg nach außen gerichteten Druck abbrechen. Um dies zu verhindern, sind die Auflagerquadern je zweier zu einander gehörigen Auflager durch kräftige Rundeisenanker mit einander verbunden. Bei dem Auflager am Ende des langen Brückenarmes ist die Oberfläche des Auflagers wagerecht angeordnet worden. Der Auflagerdruck der Träger trifft diese Oberfläche unter einem Winkel, dessen Tangente gleich  $\frac{1}{4}$  ist, es können jedoch wagerechte Kräfte auf die Auflager nicht zur Wirkung gelangen, weil die Verbindungen zwischen den beiden Hauptträgern diese Kräfte aufnehmen. Die Anordnung wagerechter Auflager-Berührungsflächen empfahl sich hier, weil das Maß, um das die zu bewegendes Brücke anzuheben ist, dann am kleinsten wurde. Auf den kleinen Stützpfählern nahe am Ende des kurzen Brückenarmes sind die in den Text-Abb. 295 u. 296 dargestellten Pendellager verwandt. Anfänglich waren auch hier einfache Kipplager angeordnet, schon bei den Probebewegungen der Brücken zeigte sich jedoch, daß die Pfeiler nicht genug Masse hatten, um die beim Anheben und Absenken der Ueberbauten infolge der Aenderung der Durchbiegungen der Hauptträger auftretenden wagerechten Schubkräfte ohne Schaden für das Pfeilermauerwerk aufzunehmen. Während sich an den nördlichen Auflagerpfählern keinerlei Uebelstände bemerkbar machten, traten in den kleinen Stützpfählern starke Risse auf, und der obere Theil des Mauerwerks derselben wurde nach und nach immer mehr zerstört. Seit dem Ersatz der Kipplager durch die Pendellager ist dieser Uebelstand vollständig beseitigt. Die stets lothrechte Stellung der unbelasteten Pendel wird durch die Gewichte herbeigeführt, von denen bei jedem Neigen der Pendel das eine angehoben wird, während das andere sich auf den Boden seines Gehäuses aufsetzt.

Die Eisenbahn-Drehbrücken bei Osterröndfeld sind — wie oben bereits erwähnt worden ist — in der Regel geöffnet, sodafs die auf dem Kaiser Wilhelm-Canal verkehrenden Schiffe zumeist unbehindert durch die Brückenöffnungen hindurch fahren können. Das Schließen der Brücken findet nur statt, wenn ein Eisenbahnzug über den Canal geleitet werden soll. Die Brücken während der langen Zeit zwischen zwei auf einander folgenden Zügen auf der Hubvorrichtung und den am Ende des kurzen Brückenarmes angebrachten Laufrollen aufrufen zu lassen, erschien nicht angebracht, und deshalb wurden auf dem Drehpfeiler zu den dort vorhandenen, für die geschlossene Brücke bestimmten Auflagern noch zwei weitere Auflager angeordnet, auf die die Brücke abgesetzt wird, wenn sie längere Zeit geöffnet bleiben soll. Die Oberfläche dieser Auflager liegt so hoch, daß die gehobene Brücke nur eben über sie hinweg geht und eine Senkung des Drehzapfens um 30 mm genügt, um die Brücke auf die Auflager niederzusetzen und damit die Drehvorrichtungen von der Nothwendigkeit zu entlasten, etwa auf eine Bewegung der Brücke hinwirkenden Kräften den erforderlichen Widerstand entgegenzusetzen. Auch für die Enden des langen Brückenarmes sind Auflager vorgesehen; auf diese wird später noch zurückgekommen werden.

Die Berechnung der in den Hauptträgern und den Längs- und Querverbänden auftretenden Stabspannungen mußte sowohl für den Fall, daß die Brücke angehoben ist, wie auch für den zweiten Fall, daß sie auf ihren Auflagern aufruft, durchgeführt werden. Die angehobene Brücke wird stets

durch ihr Eigengewicht belastet. Dazu kommt zeitweise eine Belastung durch Winddruck. Die Größe des Winddrucks ist zu 250 kg für das qm der getroffenen Fläche angenommen worden. Diese Annahme ist sehr hoch, und deshalb konnten alle sonstigen, auf die angehobene Brücke etwa einwirkenden Kräfte, wie sie z. B. bei der Bewegung der Brücke entstehen können, unberücksichtigt bleiben. Der Winddruck beträgt nach den angestellten Berechnungen rund 0,7 t für 1 m Brückenlänge. Wird angenommen, daß die größte Geschwindigkeit während des Oeffnens oder Schließens der Brücke am Ende des langen Armes 2 m beträgt, wird ferner angenommen, daß diese Geschwindigkeit in der Mitte des Weges erreicht wird und von dort an eine solche Verzögerung der Bewegung eintritt, daß die Brücke ihre Endstellung mit der Geschwindigkeit Null erreicht, dann ergibt eine Berechnung, daß die Trägheit des Brückenkörpers auf jedes Meter Brückenlänge am Ende des langen Armes nur eine wagerechte Kraft von 0,013 t hervorruft, also eine im Vergleich zu dem 0,70 t betragenden Winddruck verhältnismäßig sehr kleine Kraft. Ueberdies nimmt die infolge der Trägheit des Brückenkörpers entstehende Kraft nach dem Drehzapfen der Brücke annähernd geradlinig ab und wird hier fast gleich Null, während der Winddruck auf die ganze Erstreckung des langen Brückenarmes nahezu dieselbe Größe behält, sogar nach dem Drehzapfen hin infolge des Anwachsens der Trägerhöhe noch etwas an Größe zunimmt. Selbst wenn die Beschleunigung oder die Verzögerung der Bewegung unter Umständen doppelt oder gar dreifach so groß werden könnte, als oben angenommen worden ist, so würde doch noch kein Grund vorliegen, ihre Kraftwirkung zu berücksichtigen, weil Bewegungen der Brücke bei einem Sturm, der einem Druck von 250 kg auf das qm der getroffenen Brückenfläche entspricht, mit den vorhandenen Drehvorrichtungen gar nicht ausgeführt werden können, also ein Zusammentreffen der höchsten Winddruckkräfte und der größten Beschleunigungs- oder Verzögerungskraftwirkungen unmöglich ist. Auch bei der Berechnung des kurzen Brückenarmes konnten die durch das Bremsen und den Stofs gegen die später zu erwähnenden Buffer hervorgerufenen Kräfte unberücksichtigt bleiben.

Die geschlossene Brücke wird außer durch das Eigengewicht und den Winddruck noch durch das Gewicht der darüber fahrenden Eisenbahnzüge und den Winddruck auf diese belastet. Der Berechnung der aus der Verkehrslast sich ergebenden Stabspannungen ist der in der Text-Abb. 297 dargestellte Lastenzug zu Grunde gelegt. Einzelne,

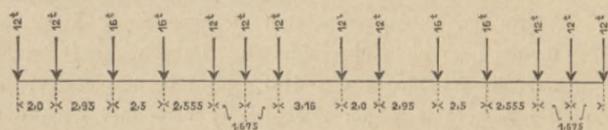


Abb. 297. Lastenzug.

vom Zuge abgetrennte Wagen, die durch ihre Stellung eine größere Spannung in einzelnen Stäben hervorrufen können, wurden nicht berücksichtigt, da derartige Fälle voraussichtlich nie eintreten werden, und, wenn sie ausnahmsweise vorkommen sollten, die Beanspruchungen doch nicht über das zulässige Maß hinaus erhöht werden würden. Dagegen mußten die Spannungen, die durch die Wärmeschwankungen hervorgerufen werden, ermittelt werden, und zwar kam besonders in Betracht, daß die Untergurte der Hauptträger durch die Sonne mehr erwärmt werden, als die unter der Fahrbahn liegenden Obergurte, und die Hauptträger infolge dessen die Neigung haben, sich von den Endauflagern abzuheben. Endlich wurden noch die Spannungen berechnet, die durch eine Abweichung der Mittelstütze um 1 cm nach oben oder unten von ihrer richtigen Lage hervorgerufen

werden, und schliesslich für den Obergurt die Spannungen, die durch die Belastung der Stäbe zwischen den Knotenpunkten sowohl durch das Eigengewicht der Fahrbahn als auch durch die Verkehrslast erzeugt werden. Der Winddruck wurde dabei zu 250 kg für das qm getroffener Fläche der unbelasteten und zu 150 kg für das qm der belasteten Brücke und der Verkehrslast angenommen, während hinsichtlich der Wärmeverschiedenheiten die Annahme gemacht wurde, dass die Sonne den Untergurt beider Hauptträger im Höchsthalle um 30° mehr erwärmt als die Obergurte.

Der Berechnung der durch den Winddruck hervorgerufenen Stabspannungen erwachsen aus den verschiedenen Höhen der einerseits zwischen die Obergurte und andererseits zwischen die Untergurte der Hauptträger eingebauten Längsverbände einige Schwierigkeiten, weil die grössere Durchbiegung des Obergurt-Längsverbandes eine Verdrehung des Brückenquerschnittes hervorruft. Die Biegemomente und die senkrechten Kräfte der eingeschwenkten Brücke sind nach dem vom Professor Müller-Breslau angegebenen Verfahren (sich Wochenblatt für Architekten und Ingenieure, Jahrgang 1883, Nr. 70 u. ff. und Zeitschrift des Architekten- und Ingenieur-Vereins zu Hannover, Jahrgang 1884, Seite 277 u. ff.) mit Hilfe der Einfluslinien auf zeichnerischem Wege ermittelt worden.

Die Querschnitte der einzelnen Stäbe wurden so bestimmt, dass sie den folgenden Bedingungen genügen:

- wenn die Brücke angehoben ist, darf kein Stab durch Eigengewicht allein mit mehr als 700 kg für das qcm, durch Eigengewicht und Winddruck von 150 kg mit mehr als 800 kg und durch Eigengewicht und Winddruck von 250 kg mit mehr als 1000 kg für das qcm beansprucht werden;
- wenn die Brücke geschlossen ist, darf kein Stab durch Eigengewicht und Verkehrslast zusammen mit mehr als 700 kg, durch Eigengewicht, Verkehrslast und Winddruck von 150 kg mit mehr als 800 kg und durch Eigengewicht, Verkehrslast und Wärmeunterschiede mit mehr als 850 kg für das qcm beansprucht werden, wobei der wechselnden Beanspruchung durch Verkehrslast dadurch Rechnung zu tragen war, dass der grösseren Spannung die Hälfte der entgegengesetzten hinzugefügt wurde;
- wenn die Spannungen in den Stäben wechseln, je nachdem, ob die Brücke geschlossen oder angehoben ist, dann darf die Summe aus der grössten und der Hälfte der entgegengesetzten Beanspruchung 1000 kg für das qcm nicht überschreiten. Dabei wurde indessen nur ein Winddruck von 150 kg/qm berücksichtigt;
- die Sicherheit gegen Zerknicken, berechnet nach der Eulerschen Formel:

$$n = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J}{P \cdot l^2},$$

- mufs für die Stäbe der Hauptträger eine fünffache sein. Dabei wurde jedoch die freie Länge der Schrägstreben und der Pfosten des Gitterwerkes mit Rücksicht auf die Einspannung an den Knotenpunkten nur mit  $\frac{3}{4}$  ihrer mathematischen Länge angesetzt. Für die Schrägstreben der Längsverbände mufste die Knickfestigkeit bei 250 kg Winddruck auf das qm der vom Winde getroffenen Fläche mindestens eine dreifache sein;
- die Beanspruchung der Niete auf Abscherfestigkeit durfte nicht höher als  $\frac{4}{5}$  der zulässigen Beanspruchung des anzuschliessenden Stabes genommen werden.

Diese Bedingungen gehen von dem Grundsatz aus, dass die häufig eintretenden Beanspruchungen höchstens 700 kg/qcm erreichen sollen, während für aufsergewöhnliche Fälle eine

Beanspruchung bis 850 kg zulässig ist und für den ungünstigsten Fall, der aller Wahrscheinlichkeit nach selbst im Laufe vieler Jahre nicht ein einziges Mal eintreten wird, die Anstrengung des Eisens bis nahe an die Elasticitätsgrenze, unter keinen Umständen aber über diese Grenze hinaus gesteigert werden darf.

Der Ueberbau der zwischen dem nördlichen Auflagerpfeiler der Drehbrücke und dem nördlichen Widerlager liegenden Seitenöffnung der Osterröfnfelder Eisenbahnbrücken ist in engem Anschlufs an die Formen des beweglichen Ueberbaues ausgebildet, wie die Abb. 2 und 3 Bl. 46 und 47 zeigen. Die Höhe zwischen den Gurtschwerpunkten beträgt, gemessen in der unter 1:4 geneigten Trägerebene, 3,55 m, also genau

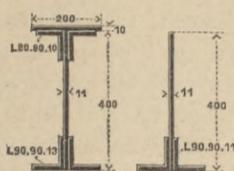


Abb. 298. Obergurt-Querschnitt.  
Abb. 299. Untergurt-Querschnitt.

ebensoviel wie an dem Ende des langen Armes des beweglichen Ueberbaues, die Stützweite 19,05 m. Der I-förmige Obergurt hat in der Brückenmitte den in der Text-Abb. 298, der  $\perp$ -förmige Untergurt ebendasselbe den in der Text-Abb. 299 dargestellten Querschnitt erhalten.

Nach dem Brückenende zu fällt im Obergurt die Decklasche fort, während im Untergurt die 90 × 90 × 11 mm starken Winkeleisen durch Winkel von 80 × 80 × 10 mm Stärke ersetzt werden. Die Schrägstreben der Hauptträger bestehen in den beiden Endfeldern aus je vier Winkeleisen 90 × 90 × 13 mm und einem Flach-eisen 200 × 10 mm, in allen übrigen Feldern aus vier Winkeln 80 × 80 × 10 mm. Diese letztere Stärke haben auch die Pfosten, mit denen die Obergurte gegen die Knotenpunkte der Untergurte abgestützt sind, während zur Aufhängung der Untergurte an den Obergurten nur je ein Winkeleisen von 70 × 70 × 9 mm Stärke dient. Zwischen die beiden Hauptträger sind vier Querverbände eingebaut. Bei den beiden Endverbänden besteht die Verbindung der Untergurte aus zwei Winkeleisen 80 × 80 × 10 mm, in den beiden mittleren aus zwei Winkeln 70 × 70 × 9 mm. Die Verbindungen zwischen den Obergurten sind bei allen vier Verbänden aus einem 10 mm starken Stehblech und zwei dasselbe oben säumenden Winkeleisen 70 × 70 × 9 mm gebildet. Die sich kreuzenden und an der Ueberkreuzungsstelle mit einander vernieteten Schrägstreben sind in den beiden Endquerverbänden aus je zwei Winkeleisen 80 × 80 × 10 mm zusammengesetzt, während für die mittleren Verbände nur ein solches Winkeleisen gewählt ist. Dort, wo der Untergurt an dem Obergurt aufgehängt ist, sind sowohl die Obergurte als auch die Untergurte der beiden Hauptträger durch je zwei Winkel von 70 × 70 × 9 mm Stärke mit einander verbunden. Der Längsverband in Höhe des Obergurtes ist steif ausgebildet, die aus zwei Winkeleisen von 70 × 70 × 9 mm Stärke bestehenden Schrägstreben sind mit den das Schienengleis tragenden, genau so wie beim beweglichen Ueberbau hergestellten Querschwellen vernietet. Der Längsverband in Höhe des Untergurtes hat gekreuzte, aus Flacheisen von 80 × 10 mm Stärke bestehende Schrägstäbe erhalten. Auf dem nördlichen Widerlager ruht der Ueberbau auf Gleitlagern, an seinem anderen Ende sind jedoch Zapfenkipplager vorgesehen worden, deren Aufseres mit dem der Lager für den langen Arm des beweglichen Ueberbaues thunlichst in Ueber-einstimmung gebracht wurde.

Die Berechnung der Ueberbauten für die Seitenöffnung und die Bestimmung der Querschnitte wurde nach den Grundsätzen, die bei der Erörterung der beweglichen Ueberbauten mitgetheilt worden sind, durchgeführt.

Die Pfeiler. Ueber die Pfeiler ist bereits bei der Erörterung der allgemeinen Anordnung einiges mitgetheilt

worden, dabei sind jedoch nur diejenigen Theile der Pfeiler erwähnt worden, die die Ueberbauten der Brücken tragen, wenn diese geschlossen sind, während noch Anlagen geschaffen werden mußten, die die am Ende des kurzen Brückenarmes vorgesehenen Laufrollen während des Oeffnens und Schließens der Brücke unterstützen, und ferner Anlagen, durch die es ermöglicht wird, das Ende des langen Brückenarmes einmal in seiner zu weit gehenden Bewegung beim Oeffnen der Brücke zu hemmen und dann dieses Ende auch so zu lagern, daß die geöffnete Brücke nicht infolge von Windkräften unvorhergesehene Bewegungen machen kann.

Die Laufrollen am Ende des kurzen Brückenarmes bewegen sich während der Drehung auf einem Kreisbogen, dessen Mittelpunkt von dem Drehzapfen der Brücke gebildet wird. Die Laufrollen haben 1000 mm Durchmesser und 200 mm breite glatte Laufflächen ohne Flanschen, der Abstand der Radachsen von einander beträgt 1100 mm. Die Laufrollen bewegen sich auf einer Eisenbahnschiene, die in dem Theil ihrer Länge, der auf dem festen Lande liegt, von einem gemauerten Pfeiler von vier Stein Stärke, über der Canalböschung und dem Canale selbst aber von einer kleinen eisernen Brücke getragen wird. Die

Achse des canalseitigen Pfeilers dieser Brücke liegt genau in der Achse der ausgeschwenkten Brücke, es ragen infolge dessen die Träger über den Pfeiler hinaus und mußten, um ein etwaiges Kippen unmöglich zu machen, am anderen Ende mit dem dortigen Pfeiler verankert werden. Die Text-Abb. 300 bis 303 zeigen sowohl die Ausbildung der Brücke und des zugehörigen Pfeilers wie auch die der Laufkranzmauer. Auf der Mauer stützt sich die Schiene zunächst auf Steinwürfel von 50 cm Länge und 30 cm Höhe. Zur Befestigung des Schienenfusses auf den Würfeln dienen zwei Dübel aus Eichenholz, die in Löcher von 4 cm Weite und 15 cm Tiefe eingesetzt wurden, nachdem sie vorher mit Theeröl getränkt worden waren. Die Schienen sind an den Dübeln mit Schienenschrauben befestigt.

Das Auflager für das Ende des langen Armes der ausgeschwenkten Brücke befindet sich ebenfalls auf einer kleinen eisernen Brücke, die von zwei Pfeilern getragen wird. Die Text-Abb. 304 u. 305 zeigen die gewählte Anordnung. Wie bereits oben mitgeteilt worden ist, wird die Brücke, wenn sie vollständig ausgeschwenkt ist und in diesem Zustande längere Zeit verharren soll, auf dem Drehpfeiler um 3 cm gesenkt und damit auf zwei dort vorhandene Auflager abgesetzt. Nachdem die Brücke um die Hälfte dieses Maßes gesenkt ist, kommt sie mit dem Ende ihres langen Armes bereits auf den, aus der Text-Abb. 304 ersichtlichen Lagern zum Aufruhem, und nach der vollständigen Senkung entsteht dort ein Auflagerdruck von rund 4,5 t, der vollständig ausreichend ist, um seitliche, durch Windkräfte veranlaßte Bewegungen des langen Brückenarmes zu verhindern. Außer diesen Auflagern trägt die kleine Brücke noch einen Buffer, der verhindern soll, daß die Drehbrücke beim Oeffnen über ihre Endstellung hinaus bewegt wird. Ueber die Einrichtung dieses Buffers wird späterhin näheres mitgeteilt werden, hier soll nur darauf hingewiesen werden, daß der ziemlich beträchtliche Widerstand, den der Buffer der Bewegung der Drehbrücke entgegen zu setzen vermag, von der kleinen Brücke aufgenommen und nach dem auf dem Lande errichteten Pfeiler übertragen werden muß. Um diese Kraft an einer möglichst günstigen Stelle auf den Pfeiler wirken

zu lassen, ist unter jedem der beiden Hauptträger der kleinen Brücke eine aus vier Winkelleisen und einem Flacheisen gebildete Druckstrebe angeordnet, wie aus der Text-Abb. 304 zu ersehen ist. Damit die kleine Brücke nicht bei besonders starken Stößen gegen den Buffer um den Fußpunkt der Strebe gedreht werden kann, ist der Theil der Brücke, der

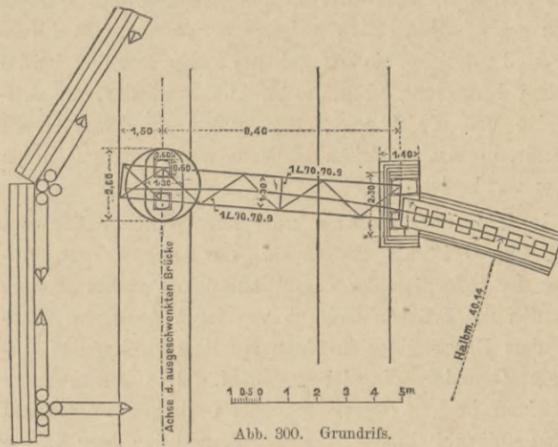


Abb. 300. Grundriss.

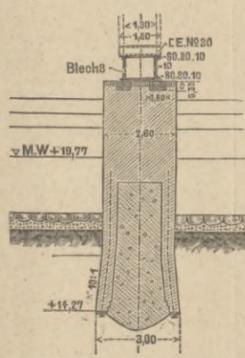


Abb. 303. Querschnitt durch den Pfeiler.

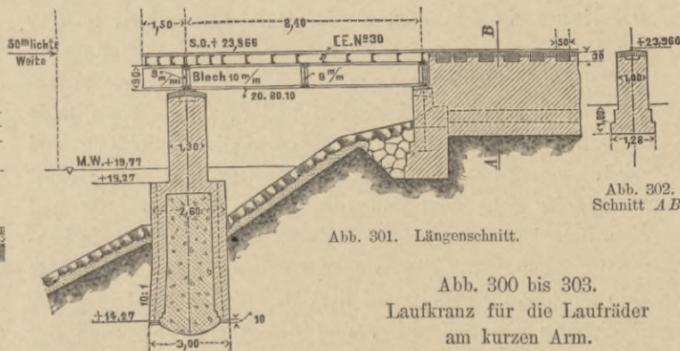


Abb. 301. Längenschnitt.

Abb. 302. Schnitt A B.

Abb. 300 bis 303. Laufkranz für die Laufrollen am kurzen Arm.

sich über dem canalseitigen Pfeiler befindet, kastenartig ausgebildet und mit einem aus Findlingen bestehenden Ballast von 6 t Gewicht versehen. Die an dem Ueberbau befestigten Theile der Auflager am langen Brückenarme sind, wie die Text-Abb. 304 zeigt, zugleich so ausgebildet, daß sie als Anschlagflächen für die Buffer dienen können.

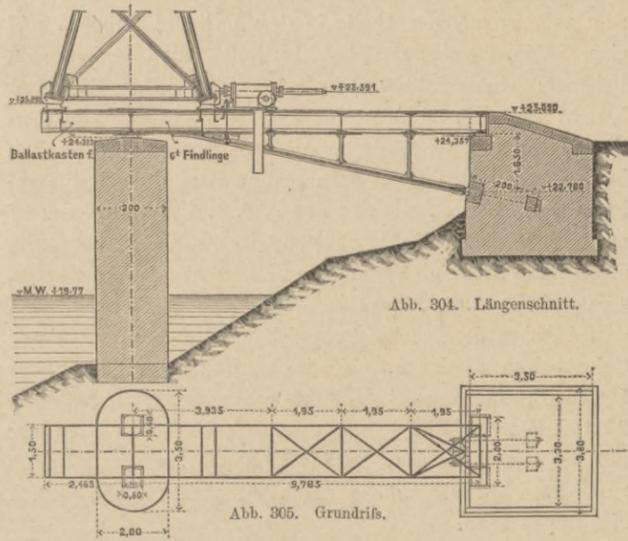


Abb. 304. Längenschnitt.

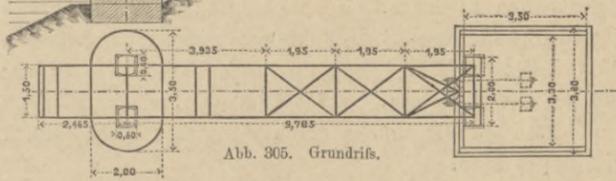


Abb. 305. Grundriss.

Abb. 304 u. 305. Auflagerung für das Ende des langen Armes der ausgeschwenkten Brücke. 1:200.

Die beiden im Canalquerschnitt stehenden Pfeiler der kleinen Brücken für die Enden des kurzen und des langen Armes der ausgeschwenkten Brücke sind auf gemauerten und nach der Senkung ausbetonirten Senkbrunnen gegründet. Die Drehpfeiler und die nördlichen Auflagerpfeiler der beiden Brücken

bei Osterrönnfeld reichen mit ihrer Unterkante bis 3 m unter die Canalsohle und mußten durch Druckluftgründung bis zu dieser Tiefe herabgetrieben werden. Die Widerlagerpfeiler auf dem nördlichen Canalufer wurden auf Beton zwischen Spundwänden gegründet, alle übrigen noch nicht erwähnten Pfeiler und die Mauer zur Unterstützung der Laufschiene für die Rollen am Ende des kurzen Brückenarmes konnten auf den gewachsenen Boden aufgemauert werden. Sämtliche Pfeiler sind möglichst einfach gehalten, aber aus den besten Baustoffen hergestellt. Für die Architekturglieder, die Auflagersteine und die Abdeckplatten wurde durchweg Granit angewandt, die Außenflächen des Mauerwerks sind mit guten Klinkern verblendet.

Die Hebevorrichtung und ihre Unterstützung. Wie bereits bei der Erörterung der allgemeinen Anordnung der Osterrönnfelder Eisenbahnbrücken gesagt worden ist, werden die Brücken dadurch von ihren Auflagern abgehoben, daß Druckwasser in einen auf dem Drehpfeiler aufgestellten Cylinder eingelassen wird. Das Druckwasser schiebt einen in dem oberen Ende des Cylinders wasserdicht geführten Kolben lothrecht in die Höhe, und da dieser Kolben unter einen zwischen die beiden Hauptträger des beweglichen Ueberbaues eingespannten Doppel-Querträger greift, hebt er die Brücke. Das Maß der Hebung mußte so festgesetzt werden, daß nicht nur das Ende des langen Brückenarmes von seinen Auflagern abgehoben und eine an diesem Ende befindliche, später zu erörternde Einklinkvorrichtung frei wird, sondern auch zwischen dem Auflager auf dem kleinen Stützpfeiler nahe dem Ende des kurzen Brückenarmes und dem Ueberbau der nöthige, übrigens geringfügige Zwischenraum entsteht. Wie die Berechnungen ergeben haben, genügt eine Hebung der Brücke auf dem Drehpfeiler um 16 cm zur Erreichung dieser Zwecke, und dieses Maß ist auch der Ausbildung der Einzelheiten der Hebevorrichtungen und der Auflager für die ausgeschwenkte Brücke zu Grunde gelegt.

Das auf dem Kolben der Hubvorrichtung lastende Gewicht der Brücke beträgt rund 520 t, die Spannung der Prefsflüssigkeit rund 50 Atmosphären, und dementsprechend mußte der Kolben unter Berücksichtigung der in den Dichtungen auftretenden Reibungswiderstände den beträchtlichen Durchmesser von 1250 mm erhalten. Der Kolben besteht aus zwei Theilen, dem eigentlichen Kolben, der sich zum weitaus größten Theile in dem Cylinder befindet, und einer Säule, die das zwischen den Kolben und den eisernen Ueberbau eingeschaltete Kipplager trägt. Das Kipplager besteht aus dem an dem Brückenüberbau befestigten Obertheile, dem mit der Säule verbundenen Untertheile und dem in den Obertheil eingelassenen und in dem Untertheil drehbaren Gelenkbolzen, wie aus den Abb. 2, 5 u. 6 Bl. 46 u. 47 zu ersehen ist. Die Höhenlage des Gelenkbolzens kann durch Keile innerhalb bestimmter Grenzen abgeändert werden, sodaß ein genaues Einstellen des Bolzens möglich ist. Bei dem Anheben der Brücke dreht sich der Ueberbau um diesen Gelenkbolzen so lange, bis die Laufrollen am Ende des kurzen Brückenarmes ihre Führungsschiene mit zusammen 20 t belasten. Die Länge des Gelenkbolzens, quer zur Brückenachse gemessen, beträgt 1220 mm, sie ist so groß gewählt, damit die Brücke durch Winddruck nicht seitlich überkippen kann.

Der Tauchkolben und die seine Fortsetzung bildende Säule mußten zweimal derartig geführt werden, daß sie nicht seitlich ausweichen können, da sie die durch den Angriff von Winddruckkräften und durch die Einwirkung der Seilspannung der Drehvorrichtungen entstehenden Kraftmomente auf den Drehpfeiler übertragen müssen. Die Führung an dem oberen Ende der Säule der Hubvorrichtung wird durch

ein Lager bewirkt, das in einem starken schmiedeeisernen Ringe von kastenförmigem Querschnitt liegt. Der Ring wird von einem Kegelmantel getragen, der auf dem Drehpfeiler aufgestellt ist, wie die Abb. 2, 5, 6 und 8 Bl. 46 u. 47 zeigen, und durch kräftige U-Eisen versteift wird. Die untere Führung des Tauchkolbens wird durch die Stopfbuchse am Austritt des Kolbens aus seinem Cylinder bewirkt. Der Cylinder, der auch das ganze auf dem Kolben lastende Gewicht auf den Drehpfeiler zu übertragen hat, wird von einer Reihe von Stützen getragen, die mit dem Kegelmantel und seiner Auflagerung auf dem Drehpfeiler verbunden sind. Der äußere Kegelmantel ist mit drei Oeffnungen versehen, durch die die Stopfbuchse des Kolbens zugänglich gemacht ist. Die Einzelausbildung der Hebevorrichtung geht aus den Abbildungen auf Bl. 46 und 47 ausreichend deutlich hervor. Es sei dazu nur bemerkt, daß der Cylinder aus Stahlformguss, der Kolben und die Hubsäule aber aus Guss Eisen besteht.

Die Drehvorrichtungen. Die Drehvorrichtungen sind so ausgebildet und bemessen, daß:

a) zum Oeffnen oder Schließen des beweglichen Ueberbaues bei gewöhnlichem Wetter zwei Minuten Zeit erforderlich sind. Dabei wird die Zeit von dem Augenblick ab, wo das den Verkehr auf dem Canal oder der Eisenbahn sperrende Signal gegeben wird, und bis zu dem Augenblick gerechnet, wo das Signal für freien Verkehr gegeben werden kann, und unter gewöhnlichem Wetter ist zu verstehen, daß der gleichmäßig auf die Brückenfläche wirkende Winddruck nicht größer ist als 30 kg auf das qm, und der nur auf einen der beiden Brückenarme wirkende, also einseitige Winddruck nicht mehr als 10 kg auf das qm beträgt,

b) das Oeffnen und Schließen des beweglichen Ueberbaues auch bei einem gleichmäßigen Winddruck von 100 kg auf das qm oder bei einseitigem Druck von 30 kg ohne jeden Anstand, wenn auch mit entsprechend größerem Zeitaufwand erfolgen kann, und

c) der bewegliche Ueberbau, während er bewegt wird, in jeder Lage von einem Windstofs, der 200 kg gleichmäßiger oder 80 kg einseitiger Belastung entspricht, getroffen werden kann, ohne daß eine Rückwärtsbewegung eintritt.

Für die Bemessung der Drahtseile und der Cylinder- bzw. der Kolben-Durchmesser waren durchgängig die für den einseitigen Winddruck gegebenen Forderungen maßgebend. Um nämlich das Moment der Fläche des kürzeren Brückenarmes nach Möglichkeit ebenso groß zu erhalten wie das Moment des längeren Armes, ist in den kurzen Arm eine lothrechte Wellblechwand eingebaut, und dadurch ist es gelungen, die dem Winde am kurzen Arm dargebotene Fläche so zu vergrößern, daß z. B. bei 30 kg gleichmäßigem Winddruck das auf Drehung der Brücke wirkende Winddruckmoment nur 27480 mkg beträgt, während ein einseitig auf den langen Brückenarm wirkender Winddruck von 10 kg auf das qm ein Drehmoment von 56715 mkg erzeugt. Bei 30 kg einseitigem Winddruck beträgt das Drehmoment 170145 mkg, bei 80 kg beträgt es 453720 mkg.

Die Drahtseile sind, wie bereits mitgeteilt worden ist, an dem einen Ende mit dem Mauerwerk des Drehpfeilers fest verbunden. Die Verbindungsstelle liegt der großen Kraft entsprechend, die unter Umständen von den Seilen auf den Pfeiler übertragen wird, tief unten im Mauerwerk. Von derselben steigen die Drahtseile bis zur Oberfläche des Pfeilers hinauf und legen sich, nachdem sie mittels eines Auflagerkörpers aus der ansteigenden Richtung in die wagerechte übergeleitet sind, in die beiden Rillen eines am Umfange des Pfeilers angeordneten Seilkranzes. Dieser Seilkranz hat den in der Text-Abb. 306 dargestellten Querschnitt, er ist

in die Abdeckquader des Drehpfeilers eingelassen und mit dem Pfeilermauerwerk verankert, um ihn gegen Kippen zu sichern. Das Kippen würde um die hintere Kante des

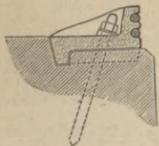


Abb. 306. Querschnitt des Seilkranzes. 1:30.

Seilkranzes erfolgen, weil die aus der Seilspannung sich ergebende, nach dem Mittelpunkt des Drehpfeilers gerichtete wagerechte Seitenkraft oberhalb der hinteren Stützfläche des Seilkranzes angreift. Jeder Seilkranz besteht aus vier Stücken, die stumpf aneinander stoßen. Die beiden Seile haben je 8 cm Durchmesser. Ihr Abstand von der Mitte des Drehzapfens beträgt 4,36 m, sie erhalten also bei einem auf den langen Brückenarm wirkenden Winddruck von 30 kg auf das qm zusammen eine Spannung von  $\frac{170145}{4,36} = \text{rund } 40000 \text{ kg}$ ,

während die Bruchbelastung der verwandten Seile etwa 270000 kg beträgt. Bei einem einseitigen Winddrucke auf die Ansichtsfläche des langen Brückenarmes von 80 kg/qm, wie sie als der denkbar ungünstigste Fall betrachtet werden kann, ist noch immer eine rund dreifache Sicherheit gegen Bruch vorhanden.

Die Durchmesser der Kolben der Drehcylinder sind für einen einseitig auf den langen Brückenarm wirkenden Winddruck von 30 kg auf das qm und unter der Annahme berechnet, daß die Nutzwirkung der Drehvorrichtung 80 v. H. beträgt. Bei 50 Atmosphären Pressung des Druckwassers im Accumulator mußte der Durchmesser des Kolbens für den mit zweifacher Uebersetzung arbeitenden Flaschenzug demnach sein:

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{\pi}{4} d^2 \cdot 50 \cdot 0,80 = 40000, \text{ oder} \\ d = \text{rund } 50 \text{ cm.}$$

Der Hub der Kolben beträgt bei 70° Drehung der Brücken:

$$\frac{2 \cdot 4,36 \cdot \pi \cdot 70^\circ}{2 \cdot 360^\circ} = \text{rund } 2,67 \text{ m.}$$

Bei dem für die Kolben gewählten Durchmesser reicht der Kolbendruck gerade aus, um dem Winddruck das Gleichgewicht zu halten, wenn dieser einseitig mit 30 kg auf den langen Brückenarm wirkt, und es steht keine Kraft für die Bewegung der Brücke zur Verfügung. Es könnte danach scheinen, als ob der Kolbendurchmesser zu klein gewählt ist. Da aber stärkere Winde stets stoßweise wirken und in den Pausen zwischen den Stößen nur kleinere Druckkräfte ausüben, so ist während dieser Pausen doch eine auf die Bewegung der Brücke wirkende Kraft vorhanden, und diese Kraft ist, wie der Brückenbetrieb gezeigt hat, groß genug, um das langsame Öffnen und Schließen der Brücke zu bewirken. Bei ruhigem Wetter übersteigt die Kraft der Drehvorrichtung die Widerstände sehr erheblich. Der Ueberschuss an Kraft dient zur Beschleunigung der Drehbewegung und ist ausreichend, um der Brücke eine solche Geschwindigkeit zu erteilen, daß das Öffnen ebenso wie das Schließen derselben nur je etwa 70 Sekunden Zeit beansprucht.

Wird die in Bewegung befindliche Brücke von einem Windstoß getroffen, der auf die ganze Länge der Brücke einen gleichmäßigen Druck von 200 kg für das qm ausübt, dann ist das Drehmoment nur unwesentlich größer als bei einem allein auf den langen Arm wirkenden Winddruck von 30 kg/qm. Da überdies die Steifigkeit der Drahtseile und die Widerstände in dem Flaschenzug einen Theil des Drehmomentes aufzehren, so treten in den Gliedern der Drehvorrichtung bei solchen Windstößen keine größeren Kräfte auf als bei dem gewöhnlichen Betriebe. Wirkt jedoch auf den langen Brückenarm ein Winddruck von 80 kg, während der kurze Arm keinen Winddruck aufzunehmen hat, dann

steigt das Drehmoment bis auf 453720 mkg an, und es mußte Vorsorge getroffen werden, daß dieses Moment nicht für den Bestand der Brücke und ihrer Bewegungsvorrichtungen gefährlich werden kann.

Wirkt ein solcher Windstoß auf die von ihren Auflagern abgehobene, aber noch nicht in Bewegung befindliche Brücke in der der auszuführenden Drehung entgegengesetzten Richtung ein, dann erhalten die Drehvorrichtungen überhaupt keine Beanspruchung, da sich die Brücke dann nur fest gegen die später zu erörternden, die Drehung der Brücke begrenzenden Buffer anlehnt. Hat der Winddruck die entgegengesetzte Richtung, dann sucht er die Brücke in Bewegung zu setzen, wird aber seiner kurzen Dauer und der großen Masse der Brücke wegen nicht imstande sein, eine Bewegung von Belang herbeizuführen. Die Drehvorrichtungen würden eine solche Bewegung übrigens nicht hindern, da die Steuerungen der Anlage so angeordnet sind, daß das Innere der Drehcylinder mit Ausnahme der Zeit während der Bewegung der Brücke mit der Abwasserleitung und so mit dem Abwasserbehälter im Accumulatorenthurm in Verbindung steht. Sollte also eine Bewegung der Brücke eintreten, dann würde aus dem Cylinder, dessen Kolben in das Cylinder-Innere hineingezogen wird, Wasser nach dem Behälter im Accumulatorenthurm gedrückt und in den anderen Cylinder die gleiche Wassermenge hineingesaugt werden.

Wirkt der Windstoß auf die in Bewegung befindliche Brücke in der der Drehung entgegengesetzten Richtung ein, dann wirkt die Kraft des die Brückenbewegung herbeiführenden Drehkolbens dem Winddruck entgegen und hebt dabei einen so großen Theil des Winddruckmomentes auf, daß der verbleibende Rest wieder wegen der Kürze seiner Wirkung nicht imstande sein wird, die der bewegten Brücke inwohnende lebendige Kraft zu überwinden und die Brücke zuerst zum Stillstand und demnächst zur Bewegung in der entgegengesetzten Richtung zu bringen. Also auch in diesem Falle sind schädliche Einwirkungen des Windstoßes auf die Drehvorrichtungen nicht zu befürchten. Anders liegt es aber, wenn der Windstoß in der Bewegungsrichtung der Brücke wirkt und somit die Brückenbewegung zu beschleunigen sucht. Tritt der Windstoß ein, während die Brücke sich einer ihrer beiden Endstellungen nähert, dann liegt die Gefahr vor, daß die Brücke gegen die Buffer geworfen wird und nicht nur diese zertrümmert, sondern auch selbst beschädigt wird. Um dieser Gefahr entgegenzuwirken, stehen dem die Brücke bedienenden Maschinisten zwei Maßnahmen zur Verfügung. Die eine dieser Maßnahmen verringert die Kraft, mit der die Brücke bewegt wird, die andere verstärkt den Widerstand gegen die Bewegung. Die erste Maßnahme besteht darin, daß der Maschinist durch entsprechende Einstellung der später zu beschreibenden Steuerung den Zufluß des Druckwassers in den zu dem treibenden Kolben der Drehvorrichtung gehörigen Cylinder aufhebt. Da sich der Kolben trotzdem aus dem Cylinder herausbewegt, weil er durch das die beiden Kolben verbindende Seil dazu gezwungen wird, muß dabei dem Abwasser ein Weg in das Cylinderinnere offen stehen. Dieser Weg wird ebenfalls bei der Erörterung der Steuervorrichtungen beschrieben werden. Die zweite Maßnahme betrifft den Cylinder, in den der Kolben durch die jeweilige Brückenbewegung hineingeschoben wird. Dieser Cylinder steht bei gewöhnlichem Betriebe mit dem Abwasser in Verbindung, und diese Verbindung wird, wieder durch entsprechende Einstellung der Steuerung, aufgehoben. Es steigert sich dann der Druck in dem Cylinder sehr rasch, und dementsprechend leistet der Kolben der Bewegung der Brücke Widerstand. Um den Druck in dem Cylinder und der Rohrleitung zwischen dem Cylinder und der Steuerung

nicht zu groß werden zu lassen, ist in diese Leitung ein später noch zu erwähnendes Abspritzventil eingebaut, das sich unter einer Pressung von 85 Atmosphären öffnet. Der Widerstand des Kolbens ist bei diesem Druck gerade so groß, daß er unter Zurechnung der im Flaschenzug und in den Seilen auftretenden Bewegungswiderstände dem Winddruckmoment entspricht, also, wenn der Maschinist den Widerstand zeitig genug hergestellt hat, unter allen Umständen ausreichend ist, um die Brücke auch bei den heftigsten Windstößen in der Gewalt zu behalten. Da von den beiden Drehcylindern bald der eine bald der andere dieselben Vorrichtungen zu erfüllen hat, so mußte für beide Cylinder sowohl eine Abwasser-Nachsaugvorrichtung als auch ein Abspritzventil vorgesehen werden. Die Anordnung derselben führt übrigens für den gewöhnlichen Betrieb die große Annehmlichkeit herbei, daß bei unzeitigem Schließen der Steuerungen Schäden an den Drehvorrichtungen nicht eintreten können.

Die Drehcylinder sind aus Stahlguß hergestellt und mit Stahlguß-Stopfbuchsen sowie Rothgußfuttern und Grundbuchsen aus Rothguß versehen. Der Boden des Cylinders, der Lagerkörper für die hinteren Seilrollen und der Anschlußkörper der Drahtseile bilden ein kräftiges Gußstück, das mit dem eisernen Ueberbau sorgfältig verschraubt ist. Der Tauchkolben besteht ebenso wie der mit ihm verbundene Lagerkörper für die vorderen Seilrollen aus Gußeisen, der letztere gleitet während der Bewegung des Kolbens zwischen zu diesem Zweck an dem Grundrahmen der Drehvorrichtungen vorgesehenen Führungen. Das vordere Ende der Drehcylinder ist auf dem zugehörigen Grundrahmen derart gelagert, daß sich die Drehcylinder in ihrer Längsrichtung ausdehnen können. Sämtliche Seilrollen sind aus Gußeisen, die zugehörigen Bolzen aus Stahl angefertigt. Das Verbindungsdrahtseil zwischen den beiden Drehcylindern ist an die Lagerkörper für die vorderen Seilrollen angeschlossen und über eine Kehrrolle geführt, die von einer Plattenfeder zurückgezogen wird und dadurch das Seil stets straff erhält. Infolge dessen sind die beiden Kolben der Drehvorrichtung zwangsläufig mit einander geführt. Die Drehcylinder sind mit einem aus Wellblech hergestellten Häuschen umgeben worden, um sie gegen die Einflüsse der Witterung zu schützen. Dieses Häuschen ist auf Blatt 46 und 47 nicht dargestellt. Die beiden Drahtseile der umgekehrten Flaschenzüge bestehen aus Patent-Gußstahldrähten. Sie sind an dem Ende, an dem sie mit dem Drehpfeiler verbunden sind, mit Kauschen versehen und durch Eisenbolzen an die Ankerstangen angeschlossen. Die Verbindung der anderen Seilenden mit dem eisernen Ueberbau oder, wie oben bereits erwähnt wurde, vielmehr mit dem zugleich den Boden der Drehcylinder bildenden Gußstück ist in der aus der Abb. 8 auf Blatt 46 und 47 ersichtlichen Weise erfolgt. Die in der Text-Abb. 307 besonders dargestellte, aus Gußstahl angefertigte Seilbirne

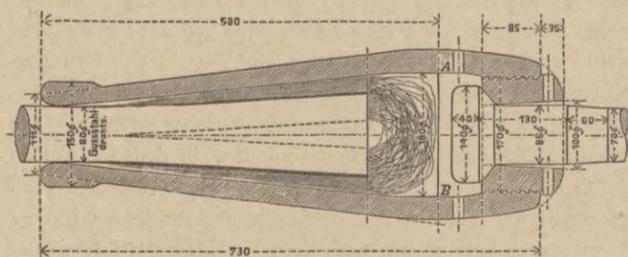


Abb. 307. Seilbirne. 1:10.

bildet das Verbindungsglied zwischen je einem der beiden Seile und dem zugehörigen Schraubenanker. Die Befestigung der Seile in den Birnen erfolgte erst auf der Baustelle. Die

Birne wurde dabei über das Seil geschoben, dann das Seilende vollständig aufgespleist, jeder einzelne Draht auf etwa 40 cm Länge umgebogen und das so gebildete Drahtbüschel in die Birne hineingezogen. Der in der Birne noch verbleibende Raum wurde dann mit einer aus Blei, Zink und Zinn zusammengesetzten Metallmasse — sogenannte Composition — bis zur Linie *AB* ausgegossen und hierauf die Seilbirne mit dem Schraubenanker verbunden. Es sei hier vorweg bemerkt, daß sich die Drahtseile anfänglich sehr stark reckten und deshalb während der Probewebungen der Brücken ein Kürzen der Seile um etwa 1 m notwendig wurde. Das Recken der Seile betrug bei Beginn der Probewebungen etwa 120 mm bei je 100 Drehversuchen, verminderte sich jedoch allmählich immer mehr und mehr. Um indessen den Zeitpunkt, an dem ein erneutes Kürzen der Seile notwendig werden mußte, möglichst hinauszuschieben, wurden die ursprünglich beschafften Schraubenanker durch solche mit 80 cm längerem Gewinde ersetzt.

Die Rohrleitungen und die Steuervorrichtungen der Brücken. Der Cylinder der Hubvorrichtung stützt sich auf den Drehpfeiler, er behält also bei allen Lagen des beweglichen Ueberbaues dieselbe Stellung zum Drehpfeiler und ebenso auch zu der für die Erzeugung der Prefsflüssigkeit hergestellten Maschinenanlage bei. Anders ist es mit den Drehcylindern. Diese sind zwischen die Hauptträger des Ueberbaues eingebaut, machen alle Bewegungen desselben mit und ändern somit während der Bewegung der Brücke ihre Lage zum Drehpfeiler. Deshalb mußten Einrichtungen getroffen werden, die es ermöglichen, die in der Maschinenanlage hergestellte Prefsflüssigkeit bei allen Stellungen der Brücke nach den Drehcylindern zu leiten und, da ein ziemlich theures Gemisch von Wasser und Glycerin zu der Prefsflüssigkeit verwandt werden muß, auch die gebrauchte Flüssigkeit zu erneuter Benutzung nach der Maschinenanlage zurück zu leiten. War diese Einrichtung einmal vorhanden, dann lag es sehr nahe, auch die für die Hebevorrichtung benötigte Flüssigkeit zunächst auf den beweglichen Ueberbau zu leiten und dann erst dem Hebecylinder zuzuführen, zumal Änderungen an der Vorrichtung nicht zu machen waren, da die Hub- und die Drehvorrichtung niemals gleichzeitig in Gebrauch genommen werden dürfen und auch die Menge an Prefsflüssigkeit, die beim Anheben oder Absenken in der Zeiteinheit auf die Brücke hinauf bzw. von der Brücke herab zu leiten ist, kleiner ist als die für das Drehen erforderliche Menge. Es war also nicht notwendig, der Vorrichtung aus diesem Grunde etwa größere Leitungsquerschnitte zu geben. Andererseits ermöglichte es die Einführung der gesamten zum Betriebe der beweglichen Ueberbauten erforderlichen Flüssigkeitsmengen, die Vorrichtungen, durch die das Innere der Hub- und Drehcylinder abwechselnd mit der Druckwasserzuleitung und der Abwasserleitung in Verbindung gesetzt wird, auf der Brücke an einem Punkte zu vereinigen, sodaß sie dort von einem einzigen Manne bedient werden können. Der Aufstellungsort der Vorrichtungen auf der Brücke konnte überdies so gewählt werden, daß der jeweilig im Dienst befindliche Mann sowohl die benachbarten Theile der Canallinie als auch die an die Brücke anstoßenden Eisenbahnstrecken mit ihren Signalen übersehen kann, und somit wurde nach Möglichkeit dafür Vorsorge getroffen, daß die Bedienungsmannschaft der Brücke die jeweilig vorliegenden Verhältnisse jederzeit übersehen und ihre Maßnahmen danach treffen kann. Alle diese Erwägungen veranlaßten den Entschluß, die gesamte, für die Bewegung der Brücken erforderliche Flüssigkeitsmenge auf die Brücke heraufzuleiten und die Vorrichtungen zu ihrer Vertheilung und Rückleitung an einem Punkte zu vereinigen.

Die Vorrichtung zum Einführen der Prefsflüssigkeit und zum Zurückleiten der gebrauchten Flüssigkeit mußte so ausgebildet werden, daß die Brücke über dem Drehzapfen um 16cm gehoben, um denselben um  $70^\circ$  gedreht werden kann und außerdem die beim Anheben und Absenken der Brücke eintretende, allerdings verhältnißmäßig kleine Kippbewegung machen kann. Die Ausbildung der Vorrichtung ist aus den Abb. 5 bis 7 auf Bl. 46 u. 47 und der Text-Abb. 308 zu ersehen. Auf dem kastenförmigen Ringe, in den das obere Lager der Hubsäule eingebaut ist, sind zwei Ständer aufgestellt, die zur Unterstützung eines aus zwei gleich großen Theilen bestehenden, wagerecht angeordneten Ringkörpers dienen.

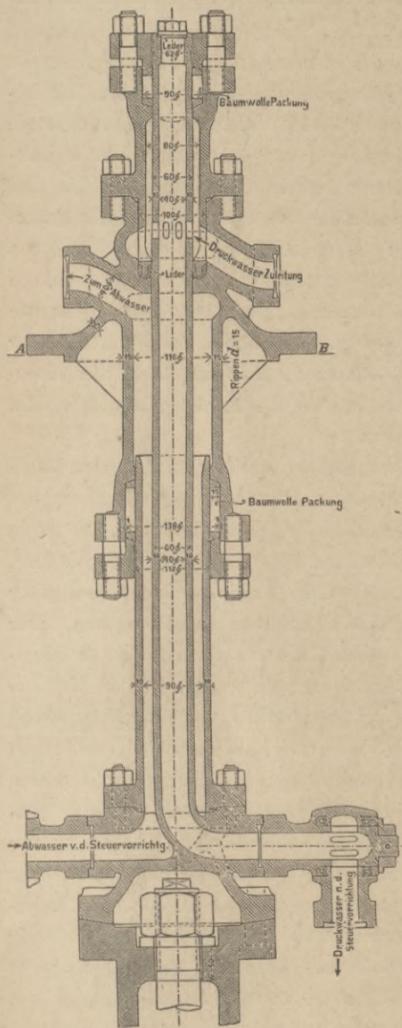


Abb. 308. Lothrechter Schnitt durch die Vorrichtung zum Hinaufführen des Druckwassers auf die Brücke und zum Herableiten des Abwassers. 1:10.

Deshalb mußten die Aussparungen in den Stehblechen des Querträgers solche Höhe erhalten, daß weder bei angehobener noch bei abgesenkter Brücke eine Berührung zwischen dem Ringkörper und dem Querträger stattfinden kann. Im Innern der beiden halben Ringkörper ist je ein Canal mit kreisrundem Querschnitt ausgespart, der die halbe Länge der Körper durchzieht und an seinen beiden Enden mit Einrichtungen zum Anschluß von Rohrleitungen versehen ist. Die Canäle der beiden Ringhälften beginnen bei demselben Ständer, an die eine Ringhälfte ist daselbst die von der Maschinenanlage kommende Druckwasserzuleitung, an die andere Hälfte die nach der Maschinenanlage führende Abwasserleitung angeschlossen. Zwischen die beiden Ringkörperhälften ist ein wagerechtes Querstück eingebaut, dessen Längsachse durch die Lothrechte im Mittelpunkt des Hebelkolbens hindurchgeht und auf der Verbindungslinie der beiden

Ständermitten senkrecht steht. (Sich hierzu besonders Abb. 7 auf Bl. 46 u. 47.) In der Mitte dieses Querstückes ist eine große Durchbohrung vorgesehen, und in diese Durchbohrung ist der in der Text-Abb. 308 in einem lothrechten Schnitt gesondert dargestellte doppelte Stopfbuchsenkörper derartig eingesetzt, daß die Lothrechte durch die Mitte des Stopfbuchsenkörpers und die Lothrechte durch die Mitte des Hebelkolbens genau mit einander zusammenfallen. Der Stopfbuchsenkörper ist in Höhe der Wagerechten *AB* mit dem Querstück durch Schrauben fest verbunden, ändert also beim Heben und Senken und beim Drehen der Brücke seine Lage nicht. In dem Stopfbuchsenkörper werden zwei Rohre geführt, ein längeres inneres und ein dasselbe concentrisch umgebendes kürzeres äußeres Rohr. Das längere innere Rohr wird in dem Stopfbuchsenkörper zweimal geführt, nämlich einmal in einer Zwischenwand, die das Innere des Stopfbuchsenkörpers in zwei von einander getrennte Räume, einen oberen und einen unteren theilt, und dann bei dem Austritt aus dem Stopfbuchsenkörper an dem oberen Ende desselben. Das kürzere äußere Rohr wird nur einmal geführt, und zwar in der Stopfbuchse am unteren Ende des doppelten Stopfbuchsenkörpers. Von den beiden Räumen im Innern des Stopfbuchsenkörpers steht der untere durch eine kurze Rohrleitung mit demjenigen Canal des oben beschriebenen Ringkörpers in stets offener Verbindung, an den die Abwasserleitung angeschlossen ist; der obere Raum ist in gleicher Weise mit dem Druckwasser enthaltenden Canal des Ringkörpers verbunden. Das innere Rohr ist an seinem oberen Ende durch eine Verschraubung geschlossen, seine Wandung ist jedoch an einer Stelle, die beim Heben und Senken der Brücke stets innerhalb des oberen Raumes des Stopfbuchsenkörper-Inneren verbleibt, mit Schlitzen versehen, sodas in diesem Raume befindliche Druckwasser in das innere Rohr hineingelangen kann. Der zwischen dem äußeren und dem inneren Rohr befindliche ringförmige Raum steht mit dem unteren Raum des Stopfbuchsenkörper-Inneren in stets offener Verbindung, enthält also Abwasser. Beide Rohre sind unten in einem Fuß zusammengeführt, der für jedes Rohr mit einem Anschluß für die auf die Brücke führenden Leitungen versehen ist und auf einer Säule aufruhrt, die durch die Mitte des Drehzapfens hindurchgeht und mit dem unteren Theil des Kippagers fest verbunden ist, während sie durch den Kippbolzen und den oberen Lagerkörper mit Spielraum hindurchgeht. Der untere Theil des Lagerkörpers wird eben so wie die Hubsäule und der Hebelkolben beim Anheben und Absenken des beweglichen Ueberbaues nur in senkrechter Richtung auf und nieder bewegt, und beim Oeffnen und Schließen der Brücke drehen sich diese Theile nur um die lothrechte Achse des Drehzapfens. Diese Bewegungen können aber die beiden Rohre innerhalb des während dieses Vorganges seine Lage unverändert beibehaltenden doppelten Stopfbuchsenkörpers auch machen, und dabei steht das innere Rohr stets mit dem oberen, mit Druckwasser gefüllten Raum im Inneren des Stopfbuchsenkörpers in offener Verbindung, während der ringförmige Schlitz, der sich zwischen dem äußeren Umfang des inneren Rohres und der inneren Fläche des äußeren Rohres befindet, stets mit Abwasser gefüllt ist. Es sind somit zwei der Bedingungen, denen die Vorrichtung zur Verbindung der auf der Brücke befindlichen Druckwasser- und Abwasserleitungen mit den entsprechenden Leitungen auf dem Drehpfeiler und weiter nach der Maschinenanlage genügen muß, erfüllt, und es war nur noch Vorsorge zu treffen, daß den Kippbewegungen der Brücke entsprechend zwischen die Druckwasserleitung und die Abwasserleitung auf der Brücke einerseits und die Anschlüsse an dem Fuß des Doppelrohrkörpers andererseits bewegliche Rohrverbin-

dungen eingebaut wurden. Jede dieser beiden Verbindungen besteht aus zwei Rohrstücken, die an dem einen Ende gelenkartig mit einander verbunden sind, während das andere Ende des ersten Rohres an den Fuß des Doppelrohrkörpers und das andere Ende des zweiten Rohres an einen Gußkörper drehbar angeschlossen ist, der den Beginn der auf der Brücke liegenden, zu den Steuervorrichtungen führenden Leitungen bildet und je mit einem der beiden Hauptquerträger verschraubt ist. Die Anordnung der Rohrverbindungen ist aus den Abb. 5 u. 6 Bl. 46 u. 47 zu ersehen, die Einzelausbildung der drehbaren Anschlüsse und des Gelenkes ist aus der Text-Abb. 308 zu entnehmen, in der der drehbare Anschluß der Druckwasserleitung an den Fuß des Doppelrohres dargestellt ist.

Von den beiden an den Hauptquerträgern angebrachten Rohrgußstücken sind die Druckwasser- und die Abwasserleitung auf dem kürzesten Wege nach dem besonders gut aus Abb. 5 auf Bl. 46 u. 47 ersichtlichen Steuerhäuschen geführt, in dem beide Leitungen oberhalb des Fußbodens und gleichlaufend mit demselben liegen und je an drei in einer Reihe stehende Steuervorrichtungen angeschlossen sind. Vor dem Anschluß ist in jede der beiden Leitungen ein Absperrventil eingebaut, sodafs die Steuervorrichtungen von der Druck- und der Abwasserleitung abgetrennt werden können, wenn dieses zur Ausführung von Instandhaltungsarbeiten an ihnen nothwendig wird und diese Leitungen nicht von Wasser entleert werden sollen. Die Druckwasserleitung liegt über der Abwasserleitung.

Die drei Steuervorrichtungen sind auf einer gemeinschaftlichen Grundplatte aufgestellt und stimmen in ihrer Einzelausbildung fast vollständig mit einander überein. Durch die mittelste Vorrichtung strömt das Wasser zu dem Hebecylinder oder von demselben nach dem Behälter im Accumulatorenthurm, die in der Abb. 5 Bl. 46 u. 47 links dargestellte Vorrichtung gehört zu dem Dreheylinder, der das Oeffnen der Brücke bewirkt, die rechte zu dem Cylinder für das Schliessen der Brücke. In der linken Hälfte der Abb. 3 Bl. 48 ist ein lothrecht, rechtwinklig zur Brückenlängsachse geführter Schnitt durch die Steuerungsvorrichtung des Hebecylinders dargestellt und in der rechten Hälfte theils ein Schnitt, theils eine Ansicht der zum Cylinder für das Schliessen der Brücke gehörigen Steuerungsvorrichtung. Die Abb. 4 Bl. 48 zeigt einen gleichlaufend mit der Brückenlängsachse geführten lothrechten Schnitt durch die letztere Vorrichtung. Wie aus diesen beiden Abbildungen zu ersehen ist, besteht jede der drei Steuerungsvorrichtungen aus einem Gehäuse nebst eingesetztem Führungsring und einem durch Drehung eines Handrades und damit einer Schraubenspindel auf und nieder zu bewegenden Kolben. Jedes Gehäuse besteht aus drei Theilen, dem Gehäusekörper, der unteren Abschlusscheibe und dem oberen Kopfstück, das zugleich als Mutter der Schraubenspindel zum Bewegen des Kolbens dient. Der Gehäusekörper der zum Hebecylinder gehörigen Steuerung hat fünf Rohransätze; davon dienen zwei zum Anschluß der Druckwasserleitung und zwei zum Anschluß der Abwasserleitung, wie aus der Abb. 5 auf Bl. 46 u. 47 zu ersehen ist, der fünfte Rohransatz ist in der Abbildung nicht sichtbar, weil er auf der Rückseite der Steuerung liegt. Dieser Ansatz befindet sich in der halben Höhe zwischen den Anschlüssen für das Druckwasser und das Abwasser und dient zum Anschluß für die nach dem Hebecylinder führende Leitung. Die Gehäusekörper für die zu den beiden Dreheylindern gehörigen Steuerungen haben diese fünf Rohransätze ebenfalls, außerdem aber und zwar auf der Vorderseite der Abb. 5 Bl. 46 u. 47, daselbst jedoch nicht dargestellt, wohl aber aus der Abb. 4 Bl. 48 ersichtlich, zwei weitere, über

einander befindliche und mit einander verbundene Ansätze. Der untere Ansatz liegt in der Höhe der Abwasserleitung, der obere in der Höhe des Ansatzes für die nach dem Dreheylinder führende Leitung und ihm gerade gegenüber. Die Verbindung zwischen den beiden Rohransätzen ist unter gewöhnlichen Betriebsverhältnissen durch ein Rückschlagventil geschlossen, sie wird nur in den Ausnahmefällen und dann selbstthätig hergestellt, wenn während der Bewegung der Brücke der Zufluß von Druckwasser zu dem den treibenden Kolben beherbergenden Cylinder abgesperrt und somit zur Verhütung von Luftleere in diesem Cylinder dem Abwasser ein Weg in denselben geöffnet werden muß. Wann solche Fälle eintreten, ist oben bereits erörtert worden.

Der in den Gehäusekörper eingelegte Führungsring ist bei allen drei Steuerungen genau gleich ausgebildet. Er besteht aus vier ringförmigen Theilen, von denen der unterste mit einem Boden, mit dem er auf der unteren Abschlusscheibe des Gehäusekörpers aufruht, versehen ist. Die drei unteren Theile sind in der Höhe, in der sich die Rohransätze an dem Gehäusekörper befinden, von je sechs Schlitzen durchbrochen und an den Stellen, wo die einzelnen Ringe gegen einander stoßen, verstärkt. Der oberste Ring hat die größere Stärke auf seiner ganzen Höhe. Zwischen die vier Ringtheile sind drei Ledermanschetten eingelegt, die einerseits gegen die Wandungen des Gehäusekörpers, andererseits gegen den Kolben abdichten.

Der 60 mm im Durchmesser starke und 440 mm lange Kolben besteht ebenso wie die Führungsringe aus Phosphorbronze, während die Gehäuse aus Rothguß bestehen. Er ist in seinem unteren Theile hohl, im mittleren voll und oben mit dem, 80 mm Hub gestattenden Gewinde für die zu seiner Bewegung dienende, in ihn eingreifende Schraubenspindel versehen. Der untere hohle Theil des Kolbens ist durch einen Bodenpfropf geschlossen, sodafs von unten her kein Wasser in den Kolbeninnenraum hineindringen kann, die lothrechten Wandungen dieses Kolbentheiles sind jedoch durch zwei, in verschiedenen Höhen liegende Gruppen von wagerechten Löchern durchbrochen. Zu jeder Gruppe gehören 120 Löcher von je 4 mm Durchmesser. Die beiden Gruppen von Löchern haben solche Höhenlage erhalten, dafs bei der tiefsten Stellung des Kolbens das Innere des zu demselben gehörigen Dreh- oder Hebecylinders mit der Abwasserleitung, bei der höchsten Stellung des Kolbens mit der Druckwasserleitung in Verbindung steht und bei mittlerer Stellung gegen beide Leitungen abgesperrt ist. Bei der tiefsten Stellung des Kolbens, die in der Abb. 3 Bl. 48 dargestellt ist, fließt das von dem Dreh- oder Hebecylinder kommende Abwasser durch die sechs, in dem zweiten Führungsring von unten vorgesehenen Schlitze in den ringförmigen Hohlraum, der sich zwischen dem Führungsring und dem Steuerkolben befindet, von hier durch die obere Gruppe von Löchern in den Hohlraum im unteren Theil des Kolbens, dann durch die untere Gruppe von Löchern wieder heraus in den ringförmigen Hohlraum zwischen dem Kolben und dem untersten Führungsring und durch die Schlitze desselben in die Abwasserleitung. Bei der höchsten Stellung des Kolbens hat das die Steuerung durchströmende Druckwasser die umgekehrte Bewegungsrichtung wie in dem eben beschriebenen Falle das Abwasser. Das Druckwasser strömt, von der Maschinenanlage kommend, durch die Druckwasserleitung und die Schlitze in dem dritten Führungsring von unten in den Hohlraum, der sich zwischen dem Kolben und dem Führungsring befindet, von hier durch die obere Gruppe von Löchern in das Kolben-Innere, durch die untere Gruppe wieder heraus in den Hohlraum zwischen dem Kolben und dem zweiten Führungsring von unten und durch die

Schlitze desselben in die zu dem betreffenden Dreh- oder Hebelkolben führende Rohrleitung. Wenn der Kolben die mittlere Höhenlage einnimmt, dann befinden sich beide Gruppen der zu dem Kolbenhohlraum führenden Löcher in der Höhenlage zwischen der ersten und zweiten Ledermanschette von unten, und somit steht die nach dem zugehörigen Hebe- oder Drehcylinder führende Leitung weder mit der Druckwasserleitung noch mit der Abwasserleitung in Verbindung. In diesem Falle gestatten jedoch bei den beiden zu den Drehcylindern gehörigen Steuerungen der sechste und siebente Rohransatz oder vielmehr das an der Verbindungsstelle der beiden Ansätze vorgesehene, oben bereits erwähnte Rückschlagventil das Nachsaugen von Abwasser in die Drehcylinder, wie das bei den früher dargelegten Betriebsvorkommnissen nothwendig wird. Infolge der im Drehcylinder und somit in der Verbindungsleitung zwischen diesem Cylinder und der zugehörigen Steuerung dann eintretenden Druckverminderung hebt sich der Ventilteller, und von der Abwasserleitung her strömt Wasser durch den unteren vom Steuerkolben frei gelassenen Raum im Steuerungsgehäuse in den sechsten Rohransatz, durch den Ventilspalt in den siebenten Rohransatz und von hier durch die Schlitze in dem zweiten Führungsring um den Steuerkolben herum in die nach dem betreffenden Drehcylinder führende Leitung.

Bei allen drei Steuerungen sind an dem Rohransatz für die Leitungen nach dem Hebecylinder und den Drehcylindern Verschraubungen zum Anschluß von kleinen Kupferrohren angebracht. Jedes dieser Kupferrohre führt zu einem an der einen Längswand des Brückenhäuschens in zweckentsprechender Höhe über dem Fußboden befestigten Manometer. An den drei Manometern kann der dienstthuende Maschinist erkennen, wie groß der Druck in jedem der drei zu den Bewegungsvorrichtungen der Brücke gehörigen Cylindern jeweilig ist. Ebenso sind überall die nothwendigen Entlüftungsventile vorgesehen, so insbesondere oberhalb der Rückschlagventile an den Steuerungen für die Drehcylinder.

Mit den drei Steuerungen ist auch die Verriegelung der Brücke in Verbindung gebracht. Die Verriegelung der Brücke erfolgt am kurzen Arm und zwar mit Hülfe eines Gestänges, das an das freie Ende des untersten Armes eines dreiarmigen Hebels angeschlossen ist (Abb. 4 Bl. 48). Der Drehpunkt dieses Hebels befindet sich an der der Brücke zugekehrten Schmalseite des Grundkörpers, auf dem die Gehäuse der drei Steuervorrichtungen aufgestellt sind. Der längste Arm des Hebels ist mit einem Handgriff versehen, er kann zwischen den beiden Wangen eines Führungsbogens bewegt und in seinen beiden Endstellungen durch eine Einklinkvorrichtung festgelegt werden. An den die Verlängerung des ersten Armes bildenden Arm ist das Gestänge der Brückenverriegelung angeschlossen. Der dritte Arm steht senkrecht zur Längsachse der beiden anderen Arme. An sein freies Ende ist eine lothrecht nach oben führende Stange drehbar angeschlossen, die mit ihrem oberen Ende an einen einarmigen Hebel angreift. Dieser Hebel ist auf einer wagerechten Welle festgekeilt, die in den Kopfstücken der Gehäuse der drei Steuervorrichtungen gelagert ist. Infolge dieser Anordnung wird die wagerechte Welle jedesmal gedreht, wenn die Brücke entriegelt oder verriegelt wird. Diese Drehung ist aber nur unter bestimmten Voraussetzungen möglich.

Es ist Betriebsvorschrift, daß die Steuervorrichtungen das Innere der Hebe- und Drehcylinder mit dem Abwasser in Verbindung setzen, wenn die Brücke nicht bewegt wird. Im Ruhezustande der Brücke sollen sich also alle drei Steuerkolben in ihrer untersten Stellung befinden. Haben

die Kolben diese Stellung, dann kann die Brücke durch Umlegen des Handhebels verriegelt werden, bei allen anderen Stellungen der Kolben oder eines der Kolben aber nicht. Die oben erwähnte wagerechte Welle greift nämlich bei ihrer der Verriegelung der Brücke entsprechenden Lage in die Kolben, die zu diesem Zweck mit einer Aussparung versehen sind, ein und läßt sich infolge dessen durch Umlegen des die Brückenverriegelung herbeiführenden Hebels erst drehen, wenn die Steuerkolben vorschriftsmäßig eingestellt sind. Andererseits sind durch die Verriegelung der Brücke auch die Steuerkolben festgelegt, sie können nur bewegt werden, wenn die Brücke entriegelt und dadurch die wagerechte Welle so gedreht ist, daß an ihr hergestellte Ausschnitte das Heben der Steuerkolben gestatten. Die Verriegelung der Brücke ist übrigens derartig mit den Eisenbahnsignalen in Verbindung gebracht, daß diese Signale nicht eher auf freie Fahrt gestellt werden können, als bis die Brücke verriegelt ist, und andererseits auf Halt gestellt sein müssen, ehe die Brücke entriegelt werden kann.

Ebenso ist Vorsorge getroffen, daß die Canalsignale nicht eher auf „Fahrt“ gestellt werden können, ehe die ausgeschwenkte Brücke nicht gesenkt ist und die Steuerkolben in ihre unterste Stellung gebracht und in dieser durch Umlegen des Handhebels — genau wie bei der Verriegelung der geschlossenen Brücke — festgelegt sind. Soll die Brücke wieder eingefahren werden, dann müssen zuvor die Canalsignale auf „Halt“ eingestellt werden.

Diese Abhängigkeit zwischen den Eisenbahn- und Canalsignalen und den Bewegungsvorrichtungen der Brücke ist theils durch Hebelgestänge, theils durch Drahtzüge, theils endlich durch elektrisch betriebene Blockapparate herbeigeführt. Auf die Einzelheiten dieser Anlage, die dadurch besonders verwickelt worden ist, daß jede der beiden Osterröfelder Eisenbahnbrücken sowohl nur in einer Zugrichtung als auch in beiden Richtungen befahren werden kann, soll hier nicht näher eingegangen werden.

Die von der mittelsten Steuervorrichtung nach dem Hebecylinder führende, 38 mm im Lichten weite Leitung hat bei dem Uebergang von der Brücke nach dem Hebecylinder die aus den Abb. 5 u. 6 Blatt 46 u. 47 ersichtliche Anordnung erhalten. Sie ist mit dem Hebelkolben und der Hubsäule fest verbunden und mündet in den Hebecylinder an einer Stelle ein, die auch nach dem vollständigen Anheben der Brücke noch unterhalb der Dichtung am Austritt des Kolbens aus dem Cylinder bleibt. Der mit dem Kolben und der Säule verbundene Theil der Leitung macht wie diese die Hebung und die Drehung des Brückenüberbaues mit, dagegen nicht wie die auf dem Ueberbau verlegten Theile der Rohrleitung die Kippbewegung der Brücke. Es mußte deshalb in gleicher Weise, wie es bei der Leitung des Druckwassers auf die Brücke und bei der Abführung des Abwassers von der Brücke geschehen ist, durch Einschaltung eines Gelenkes zwischen die beiderseitigen Leitungstheile dafür gesorgt werden, daß bei den Bewegungen des Ueberbaues um das Kiplager hier kein Hinderniß auftritt.

In den mit dem Hebelkolben verbundenen Theil der Leitung ist fernerhin noch ein Absperrventil eingebaut, das gegen Ende des Brückenhubes durch ein Hebelgestänge allmählich geschlossen wird und so auch bei grober Unachtsamkeit des Brückenwärters verhütet, daß die Brücke zu hoch gehoben wird. Das Absperrventil ist im wesentlichen ebenso ausgebildet wie das später zu erörternde Ventil in der Zuleitung zu den Drehcylindern, das Hebelgestänge ist in Abb. 5 Bl. 48 dargestellt. Beide Theile sind auf dem unteren Gufskörper des Kiplagers aufgestellt und machen deshalb die Hebung und die Drehung des Hebelkolbens mit.

Der in der Abb. 5 Bl. 48 mit *A* bezeichnete Arm des Kniehebels *AB* greift mit einem in der Abbildung nicht dargestellten, an seinem freien Ende befindlichen Körper über eine wagerechte, nach einem Kreisbogen, dessen Mittelpunkt in der Lothrechten durch die Hebelkolben-Mitte liegt, gekrümmte Flacheisenschiene — in Abb. 6 Blatt 46 u. 47 mit *C* bezeichnet —, die von zwei auf dem Grundring des Hebelkolben-Halslagers aufgestellten Säulen getragen wird. Diese Flacheisenschiene ist so lang gemacht und die Lage der Säulen ist so gewählt, daß der am Hebel *A* angebrachte Körper während der Drehung der Brücke auf dem Flacheisen entlang gleiten kann. Die Flacheisenschiene behält ihre Höhenlage jederzeit bei, der Drehpunkt des Kniehebels *AB* dagegen geht in die Höhe, sobald die Brücke angehoben wird. Die Folge hiervon ist, daß sich der Kniehebel *AB* beim Anheben der Brücke um seinen Drehpunkt drehen muß. Während des größten Theiles des Brückenhubes übt die Drehung des Kniehebels *AB* eine Wirkung nicht aus, ist aber der Hub nahezu vollendet, dann stößt das untere Ende des Hebelsarmes *B* an das untere Ende des Armes *C* des Doppelhebels *CD* und setzt auch diesen in Bewegung, wobei die Spannkraft einer Feder, deren Zweck sogleich erläutert werden wird, zu überwinden ist. An das äußere Ende des Armes *D* des Doppelhebels *CD* ist eine Schubstange angeschlossen, die den zu dem Absperrventil gehörigen Schieber bei fortschreitender Hebung der Brücke so lange verschiebt, bis der in dem Schieberspiegel angeordnete, nach dem Hebecylinder führende Canal vollständig überdeckt ist, sodaß kein Druckwasser mehr in den Hebecylinder gelangen kann und die Brücke nicht mehr weiter gehoben wird. Der Arm *D* des Doppelhebels *CD* ist erheblich länger als der Arm *C*, und deshalb geht auch die Bewegung des Schiebers im Absperrventil verhältnismäßig schnell vor sich. Dadurch wurde es möglich, die allmähliche Absperrung des Schiebercanals erst während des letzten, sehr kurz gewählten Theiles des Brückenhubes eintreten zu lassen, sodaß sich die Brücke verhältnismäßig schnell hebt.

Soll die angehobene Brücke nach vollendeter Drehung wieder auf ihre Auflager abgesenkt werden, so wird dazu die von der Steuervorrichtung im Brückenhäuschen nach dem Hebecylinder führende Leitung durch Verschiebung des zu dieser Vorrichtung gehörigen Steuerkolbens mit der von der Steuervorrichtung nach dem Behälter im Accumulatorenthurm führenden Abwasserleitung in Verbindung gesetzt. Das im Hebecylinder enthaltene Druckwasser kann dann aber noch nicht abfließen, weil der Schieber des Absperrventils über dem im Schieberspiegel des Ventils ausgesparten Canal steht und diese Stellung erst verläßt, wenn sich die Brücke zu senken beginnt. Damit die Senkung der Brücke trotz dieser Stellung des Schiebers eingeleitet werden kann, ist dieser mit einem kleinen Rückschlagventil ausgestattet, das sich öffnet, sobald der Druck im Schieberkasten kleiner wird als im Hebecylinder, aber geschlossen ist, solange der umgekehrte Zustand besteht. Wird die Steuervorrichtung im Brückenhäuschen auf Senken der Brücke eingestellt, dann öffnet sich das kleine Rückschlagventil, der Inhalt des Hebecylinders läuft im ersten Augenblick allein durch das Rückschlagventil, sofort nach Beginn des Senkens aber auch durch den allmählich immer weiter geöffneten Canal im Schieberspiegel nach dem Behälter im Accumulatorenthurm ab, und nach Maßgabe der Entleerung des Hebecylinders senkt sich die Brücke. Der Senkung der Brücke entsprechend muß sich auch der Winkelhebel *AB* des den Absperrschieber bewegenden Hebelgestänges um seinen Drehpunkt drehen, eine Bewegung des Schiebers tritt dabei jedoch nicht ein, da der Winkelhebel *AB* nur das Schließen des Schiebers bewirkt.

Zum Öffnen desselben dient die oben bereits erwähnte Feder, die an dem Arm *C* des Doppelhebels *CD* angreift und diesen in Bewegung setzt, sobald das Zurückgehen des Winkelhebels *AB* diese Bewegung zuläßt. Die Feder ist so stark bemessen, daß die Drehung des Doppelhebels *CD* und damit auch das Öffnen des Absperrventils in demselben Augenblick beginnt wie das Senken der Brücke. Die Feder ist an die eine der beiden Flanschschrauben, die zur Verbindung der nach dem Hebecylinder führenden Leitung mit dem Absperrventil dienen, angeschlossen. Durch die Einfügung des Absperrventils in die Leitung zwischen dem Hebecylinder und der zugehörigen Steuervorrichtung, ist es möglich geworden, die Steuerung während der Bewegung der Brücke so stehen zu lassen, daß jederzeit Druckwasser in den Hebecylinder nachströmen kann. Dadurch ist eine gewisse Sicherheit dafür geschaffen, daß während des Öffnens und Schließens der Brücke ein Absinken derselben, das durch Undichtigkeiten der Hebevorrichtung veranlaßt werden könnte, nicht stattfinden kann. Sobald nämlich eine solche Senkung eintritt, wird das Absperrventil geöffnet, und es tritt — sofern die Steuervorrichtung im Brückenhäuschen vorschriftsmäßig gestellt ist — neues Druckwasser in den Hebecylinder ein, sodaß die Brücke wieder in ihre richtige Höhenlage kommt. Hierauf war besonderer Werth zu legen, weil sonst der Ueberbau gegen das Ende seiner Bewegung mit der ihm dann noch innewohnenden lebendigen Kraft gegen die Auflager stoßen und entweder diese beschädigen oder selbst Schaden nehmen könnte.

Um übrigens dem auf der Brücke diensthütenden Maschinenisten jederzeit die Höhenlage der Brücke anzuzeigen, ist in dem Brückenhäuschen ein durch einen Drahtzug getriebener Hubzeiger angeordnet, und außerdem ist eine Alarmglocke vorgesehen, die solange ertönt, als die Brücke sich außerhalb ihrer beiden End-Höhenlagen befindet.

Die Alarmglocke wird elektrisch getrieben. Zwei durch eine Leitung, in die ein Trockenelement und die Glocke eingeschaltet ist, verbundene Contactstifte gleiten sowohl während der Hebung als auch während der Drehung der Brücke entweder auf einer Isolirplatte oder auf Platinstreifen. Solange sich die Brücke in der richtigen Höhenlage befindet, stoßen die Contactstifte gegen die Isolirplatte, und die Leitung ist unterbrochen; verläßt die Brücke diese Lage, so gleiten die Stifte auf die Platinstreifen, diese stellen eine leitende Verbindung zwischen den Stiften her und die Glocke kommt zum Ertönen. Die Contactstifte sind auf dem unteren Gufskörper des Kipplagers aufgestellt, bewegen sich also mit der Brücke; die aus Guttapercha bestehenden Isolirplatten und die Platinstreifen stehen fest, sie sind an dem Grundring des Hebelkolben-Halslagers angebracht.

Die beiden Leitungen zur Verbindung der beiden Drehcylinder mit den zugehörigen Steuervorrichtungen im Brückenhäuschen konnten in ihrer ganzen Länge mit dem Brückenüberbau verbunden werden, da ihre Lage zu den Cylindern unveränderlich ist; infolge dessen brauchten auch Gelenke in diese Leitungen nicht eingebaut zu werden. Dagegen sind ebenso wie bei der Leitung nach dem Hebecylinder Absperrventile vorgesehen, die gegen Ende der Brückenbewegung durch Hebelgestänge, die von den großen Drehkolben bewegt werden, geschlossen werden. Die Abb. 7 Bl. 47 zeigt die Gesamtanordnung des Ventils und des Hebelgestänges sowie die Verbindung beider Theile mit dem Grundrahmen, der zur Auflagerung des Drehcylinders auf dem Brückenüberbau und zur Führung des Rollenkopfes am vorderen Ende jedes Drehkolbens dient. Danach bewegt ein in der Achse des Rollenkopfes befestigter Bolzen während der letzten 500 mm des Kolbenweges einen einarmigen Hebel *A* um seinen Drehzapfen *B*. An dem Hebel *A* ist die Schubstange des zum

Absperrventil gehörigen Schiebers drehbar befestigt, und zwar in einer so kleinen Entfernung von dem Drehmittelpunkt des Hebels, daß die Bewegung des Schiebers nur 40 mm beträgt. Der Hub der Drehkolben beträgt, wie früher angegeben worden ist, 2,67 m, die Bewegung des Absperrschiebers beginnt erst 0,50 m vor dem Ende des Kolbenweges, es ist also während mehr als vier Fünftel des Brückenweges der Zutritt des Druckwassers zum Drehkolben ganz unbehindert, und erst dann tritt eine allmähliche Schließung des Absperrventils ein. Das in der Abb. 6 Bl. 48 in einem lothrechten Längsschnitt dargestellte Absperrventil ist im wesentlichen ebenso ausgebildet wie das Ventil in der Leitung zum Hebecylinder, insbesondere ist auch hier wieder der Schieber mit einem kleinen Rückschlagventil versehen, um das Abfließen des Wassers aus dem Drehcylinder bei Beginn des Kolbenrückganges zu ermöglichen. In einer Beziehung zeigen die Absperrventile der Drehcylinder jedoch eine Abweichung von dem zum Hebecylinder gehörigen Ventile, sie sind nämlich mit einer Abspritzvorrichtung versehen, die im gewöhnlichen Betriebe durch eine kräftige Spiralfeder geschlossen gehalten wird und nur in dem oben näher erläuterten Falle, wenn die bewegte Brücke in der Nähe ihrer Endlage von einem in ihrer Bewegungsrichtung wirkenden starken Windstofs getroffen wird und zur Verhütung eines Unfalles mit den beiden Drehkolben gebremst werden muß, in Thätigkeit tritt. Die Spiralfeder ist für 85 Atmosphären Druck im Ventilkörper bemessen.

Bei den Probewebungen der Brücken stellte sich heraus, daß die Brücken kurz vor dem Erreichen der Endlage einige Zeit stehen blieben und dann die letzte Strecke ganz langsam zurücklegten. Auf diesem Theil des Weges ist der Widerstand der oben schon erwähnten und später näher zu erörternden Buffer zu überwinden und beim Einschwenken der Brücke auch der Pendelschlitten am Ende des kurzen Brückenarmes in die richtige Lage zu bringen. Diese Widerstände waren groß genug, um die Brücke in ihrer Bewegung zu hemmen, und da das Absperrventil in der Zuleitung zu den Drehcylindern bereits nahezu geschlossen war, konnte das Druckwasser nur noch langsam in den den treibenden Kolben enthaltenden Drehcylinder einströmen, um die Brücke von neuem in Bewegung zu setzen und darin zu erhalten. Um diesem Uebelstande, der das Oeffnen und Schließen der Brücke erheblich verzögerte, abzuhelpen, wurden in den Schieberspiegel des Absperrventils einige Schlitze von zusammen 7,5 qmm Querschnitt eingefeilt, und damit ist ein voller Erfolg erzielt worden.

Die Buffer sind so angeordnet worden, daß sich die Brücken genau in einer ihrer beiden Endlagen befinden, wenn der zugehörige Bufferkolben vollständig zurückgedrückt ist. Sie können dann gesenkt werden und setzen sich dabei nicht nur auf ihre Auflager auf, sondern, wenn die Brücken eingeschwenkt wurden, steht auch ein an dem langen Brückenarm angebrachter Riegel genau über einer Klinke an der kleinen festen Brücke, sodaß der lange Brückenarm beim Absenken der Brücke selbstthätig verriegelt wird. Daß diese Stellung erreicht ist, wird dem dienstthuenden Maschinisten wieder durch das Ertönen einer Glocke angezeigt, die übrigens zum Unterschied von der während des Hebens und Senkens der Brücke ertönenden, mit tiefem Klang versehenen Glocke ganz hell läutet. Auch diese Glocke wird elektrisch betrieben und kommt dadurch in Wirksamkeit, daß zwei an dem Brückenüberbau angebrachte Contactstifte durch einen an dem Bufferkörper angebrachten Platinstreifen leitend mit einander verbunden werden und dadurch einen Stromkreis schließen, in den die Glocke und ein Element eingeschaltet sind. Außerdem kann der Brückenmaschinist die jeweilige Stellung der Brücke

auch an einem mechanisch betriebenen Drehzeiger, der sich seinem Standort vor den Steuervorrichtungen gerade gegenüber befindet, jederzeit erkennen. Der Drehzeiger bewegt sich an einem mit Maßtheilung versehenen Bogenstück entlang.

Die Buffer. Von den bereits mehrfach erwähnten Buffern, die dazu dienen, die lebendige Kraft der ihren Endstellungen sich nähernden, bewegten Brücken allmählich zu vernichten, mußten für jede Brücke zwei beschafft werden, nämlich ein Buffer für den nördlichen Auflagerpfeiler und der zweite für die kleine Brücke, auf der die Auflager für den langen Arm der ausgeschwenkten und abgesenkten Brücke angeordnet sind. Die beiden Buffer sind vollständig gleich ausgebildet, ihre Lagerung mußte jedoch verschieden werden, da der eine Buffer auf dem Mauerwerk des nördlichen Auflagerpfeilers, der andere auf einem eisernen Ueberbau aufzustellen war. Jeder Buffer besteht aus dem gußeisernen Cylinder mit seiner Verankerung und dem stählernen Anschlagstempel, der in der Mitte zu einem Brems-Scheibenkolben ausgebildet ist und durch die in Bewegung befindliche Brücke zurückgeschoben wird. Im Innern des Cylindermantels ist eine kegelförmige, nach hinten zu an Querschnittsfläche abnehmende Nuth angebracht. Das Innere der Cylinder ist mit einer Flüssigkeit angefüllt, die ebenso aus Wasser und Glycerin zusammengesetzt ist, wie die in den Hebe- und Drehcylindern zur Verwendung gelangende. Der Schieberkolben hat 240 mm Durchmesser, der sowohl durch den Cylinderboden, wie den Cylinderdeckel hindurchgehende Anschlagstempel 125 mm, der Hub des Kolbens beträgt rund 1 m. Wie die Abb. 8 u. 9 Bl. 48 zeigen, trägt der Anschlagstempel an dem von der Brücke abgekehrten Ende ein Querhaupt, an das rechts und links von dem Cylinder je ein Drahtseil angeschlossen ist. Diese beiden Drahtseile führen je über eine Rolle, deren Drehachse an dem Cylinderkörper befestigt ist, und tragen hinter der Rolle je ein Gewicht. Die beiden Gewichte ziehen das hintere Ende des Anschlagstempels in den Cylinder hinein, sobald die Brücke von dem Buffer entfernt und somit die Bewegung des Anschlagstempels ermöglicht wird. Diese Bewegung geht ziemlich langsam vor sich, da dabei die Pressflüssigkeit durch die in der inneren Cylinderwandung angebrachte Nuth von dem Raum vor dem Scheibenkolben in den Raum hinter dem Scheibenkolben übertreten muß, sie endigt mit dem Augenblick, in dem der Scheibenkolben an den Cylinderdeckel anstößt. Wird nun die Brücke gegen den Buffer bewegt, so leistet dieser einen je nach der der Brücke innewohnenden lebendigen Kraft verschiedenen Widerstand, und zwar ist dieser Widerstand desto größer, je bedeutender die lebendige Kraft, oder, was dasselbe ist, je größer die Geschwindigkeit der bewegten Brücke ist. Je größer nämlich die Geschwindigkeit der Brücke ist, desto schneller muß auch der Anschlagstempel und damit der Scheibenkolben im Innern des Buffercylinders bewegt werden. Für diese Bewegung ist aber nöthig, daß die Flüssigkeit in dem hinter dem Kolben befindlichen Raum des Cylinderinnern durch die mehrfach erwähnte Nuth in den Raum vor dem Kolben übertritt. Je schneller die Kolbenbewegung ist, desto mehr Flüssigkeit muß in der Zeiteinheit durch die Nuth strömen, und da dieses Strömen nur eintritt, wenn der Druck hinter dem Kolben größer ist als vor dem Kolben und die Durchströmungsgeschwindigkeit von der Größe des Druckunterschiedes abhängig ist, so ergibt sich der sehr günstige Umstand, daß der Widerstand der Buffer mit der lebendigen Kraft der gegen sie anfahrenen Brücken wächst. Die Buffer sind in ihren Einzeltheilen insbesondere in den Verankerungen so ausgebildet, daß sie bis zu 20 t Widerstand leisten können, sie haben sich bisher durchaus bewährt.

Die Maschinen- und Kesselanlagen zur Erzeugung der Prefsflüssigkeit. Wie bereits oben erwähnt worden ist, befinden sich die Maschinen- und Kesselanlagen auf dem südlichen Ufer des Kaiser Wilhelm-Canals, sie sind daselbst in einer in Ziegelrohbau mit sparsamer Verwendung von Werksteinen hergestellten Gebäudegruppe untergebracht. Die Kesselanlage besteht aus zwei durchaus gleichen Cornwall-Kesseln mit seitlichem gewelltem Feuerrohr, die für sechs Atmosphären Dampfdruck eingerichtet sind. Jeder der beiden Kessel besitzt eine Gesamtheizfläche von 60 qm und ist allein imstande, den für den Betrieb der Prefs-pumpen erforderlichen Dampf zu liefern. Die Kessel sind 7000 mm lang und haben 2000 mm inneren Durchmesser, die gewellten Feuerrohre haben 1100 bzw. 1200 mm Durchmesser. Sämtliche zu den Kesseln verwandten Bleche sind aus Siemens-Martin-Stahl angefertigt. Das Speisewasser wird in einem viereckigen gusseisernen Gefäß durch den von der Dampfmaschine kommenden Abdampf vorgewärmt; das kalte Wasser wird dabei durch eine kleine Dampf-pumpe aus einem dicht beim Kesselhause angelegten Brunnen in den Vorwärmer gehoben.

Zur Erzeugung der Prefsflüssigkeit ist nur eine Dampf-pumpe vorgesehen, es ist also keine zur Aushilfe vorhanden. Wie später eingehender erörtert werden wird, war die Beschaffung einer Ersatzmaschine nicht nötig, weil die Maschinenanlage an der Straßendrehbrücke bei Rendsburg auch die für die Bewegung der Osterröf-felder Eisenbahnbrücken nötige Druckflüssigkeit liefern kann. Die Prefs-pumpmaschine hat zwei Dampfzylinder von je 325 mm lichtigem Durchmesser; die zugehörigen Kolben haben 400 mm Hub, und die beiden Pleuelstangen greifen um 90° versetzt an die Kurbeln der Schwungradwelle an. Die Dampfzylinder sind mit Riderscher Expansions-Schiebersteuerung versehen. Zu jedem Dampfzylinder gehört eine Prefs-pumpe mit Differential-Tauchkolben von 57 bzw. 80 mm Durchmesser. Die Pumpen liegen hinter den Dampfzylindern, und ihre Kolben werden durch die nach hinten verlängerte Kolbenstange des Dampfzylinders angetrieben. Die Leistung der Prefs-pumpen beträgt bei 75 Umdrehungen in der Minute 16 cbm Prefsflüssigkeit in der Stunde.

Wie nur eine Prefs-pumpmaschine vorgesehen ist, so ist auch nur ein Accumulator vorhanden. Dieser hat 600 mm Kolbendurchmesser und 6 m Hub, sodaß die in ihm aufgespeicherte nutzbar zu machende Druckwassermenge rund 1700 Liter beträgt. Der Inhalt des Accumulators und die secundliche Leistung der Prefs-pumpen sind so gewählt, daß entweder die beiden Osterröf-felder Eisenbahndrehbrücken sich gleichzeitig innerhalb eines Zeitraumes von fünf Minuten öffnen und schließen lassen und dieser Vorgang nach Verlauf von 10 Minuten wiederholt werden kann, oder daß die Rends-burger Straßendrehbrücke in einer Stunde zehnmal geöffnet und geschlossen werden kann. Der Druck im Accumulator beträgt 50 bis 55 Atmosphären. Abgesehen von den größeren Abmessungen ist der Accumulator im wesentlichen ebenso ausgebildet wie die zu den Bewegungsvorrichtungen der Schleusen gehörigen Accumulatoren in Brunsbüttel und Holtenau; insbesondere ist sowohl ein Sicherheitsventil, das zugleich ein zu hohes Aufsteigen des Tauchkolbens verhindert, vorgesehen, als auch ein Brems-Ventil, das bei einem etwa in den Rohrleitungen auftretenden Bruch das zu starke Aufschlagen des niedersinkenden Accumulators auf seine Unterlage verhindert. Abweichend von der dem gleichen Zweck dienenden Einrichtung in Brunsbüttel und Holtenau ist jedoch die Vorrichtung ausgebildet, durch welche die Prefs-pumpmaschine vom Accumulator aus an- und abgestellt wird. Während dort Hebelgestänge dazu benutzt sind, ist hier eine der Maschinenbauanstalt Haniel und Lueg in Düsseldorf-Grafen-

berg unter Nr. 55398 im Deutschen Reich patentirte Druckwassersteuerung verwandt. Durch diese wird die Prefs-pumpmaschine abgestellt, sobald der Accumulator seine höchste Stellung erreicht hat, und wieder in Gang gesetzt, wenn er um 1 m gesunken ist.

In dem für die Unterbringung des Accumulators erbauten Thurm ist auch der Behälter aufgestellt, in den die auf den Brücken verbrauchte Prefsflüssigkeit abfließt, um von dort durch die Prefs-pumpen wieder entnommen zu werden. Dieser Behälter liegt mit seiner Unterkante 16 m über dem Fußboden des Maschinenhauses, und der aus dieser Höhenlage sich ergebende Druck in der Abwasserleitung und dem Innern der auf der Brücke befindlichen Cylinder genügt, um den Hebelkolben auch während des Ruhezustandes der Brücke gegen den Brückenüberbau zu pressen und denjenigen Kolben, der während der Drehung der Brücke in den zugehörigen Cylinder hineingeschoben wird, an einem zu schnellen Zurückgehen zu hindern.

Die für den Betrieb der Bewegungsvorrichtungen der Brücken verwandte Flüssigkeit besteht, wie bereits erwähnt worden ist, aus einem Gemisch von Glycerin und Wasser, das aus fünf Theilen Glycerin und vier Theilen Wasser zusammengesetzt ist. Dieses Mischungsverhältniß ist auf Grund von Versuchen gewählt worden, bei denen sich herausgestellt hat, daß diese Flüssigkeit bei  $-30^{\circ}$  Celsius die ersten Spuren von Eisbildung zeigt und bei  $-32^{\circ}$  gefriert. Da in Schleswig-Holstein mit stärkeren Kältegraden als etwa  $25^{\circ}$  Celsius nicht gerechnet werden braucht, jedenfalls bei solchem Frost der Verkehr auf dem Kaiser Wilhelm-Canal unterbrochen und somit eine Bewegung der Brücken nicht nötig sein wird, so entspricht die Widerstandsfähigkeit der Prefsflüssigkeit gegen Gefrieren den zu stellenden Anforderungen.

Die Rohrleitungen innerhalb der Maschinenanlage und von der Maschinenanlage nach den Brücken sind aus Gufseisen hergestellt. Die Druckleitungen haben 75 mm lichte Weite und Flanschenverbindungen, die Dichtung erfolgt durch Gummischmurringe, die in keilförmige Nuthen eingelegt sind. Die Abwasserleitungen haben 78 mm lichte Weite und bestehen aus Muffenrohren, die durch Theerstricke mit Bleiverstemmung gedichtet sind. Von der Maschinenanlage geht nach jeder der beiden Osterröf-felder Eisenbahndrehbrücken eine besondere Druckwasserleitung, und ebenso führt von jeder Brücke eine getrennte Abwasserleitung nach der Maschinenanlage. Außerdem ist noch ein drittes Leitungs-Paar vorhanden; es ist nämlich die Druckwasser-Erzeugungsstelle bei der Eisenbahnbrücke mit der etwa 1500 m entfernt gelegenen, genau übereinstimmend ausgebildeten Maschinenanlage bei der Rendsburger Straßendrehbrücke und mit den Rohrleitungen dieser Brücke selbst derart verbunden, daß sowohl die Straßendrehbrücke von Osterröf-feld aus als auch die Eisenbahnbrücken von Rendsburg aus mit Druckwasser versehen werden und dahin das gebrauchte Wasser abgeben können. Die beiden Maschinenanlagen können sich also gegenseitig ersetzen, auch kann zu Zeiten schwachen Canalverkehrs die eine Anlage ganz außer Betrieb genommen werden, wenn sich dies zur Erleichterung von Instandsetzungsarbeiten als nützlich oder nothwendig herausstellen sollte.

Die Abzweigung der drei Druckwasser- und der drei Abwasserleitungen von dem Druckrohr und dem Abwasserrohr der Osterröf-felder Maschinenanlage erfolgt in einem außerhalb des Maschinenraumes angelegten, von dem Keller unter demselben aber zugänglichen Schacht. In diesem ist dicht an dem Anschluß jedes Zweigrohres an das zugehörige Hauptrohr ein Absperrventil angeordnet, und das Hauptrohr selbst kann ebenfalls durch ein Ventil gegen die Maschinen-

anlage abgesperrt werden. Sobald die Ventile in den beiden Hauptrohren geschlossen, die Ventile in den Anschlussrohren aber geöffnet sind, können die Osterröndfelder Brücken von der Maschinenanlage bei der Rendsburger Strafsendrehbrücke aus betrieben werden. Werden die Ventile in den beiden nach der Strafsenbrücke führenden Leitungen geschlossen, dann sind die beiden Maschinenanlagen ganz unabhängig von einander.

Nachträglich ist noch je eine zweite Verbindung zwischen den nach den Brücken führenden Leitungen und der Verbindungsleitung der beiden Maschinenanlagen hergestellt worden. Diese Verbindungen haben den Zweck, die Wege des Druckwassers und des Abwassers möglichst abzukürzen, wenn die zu der betreffenden Brücke gehörige Maschinenanlage außer Betrieb ist, und fernerhin sollen sie die Versorgung der Osterröndfelder Brücken mit Druckwasser von der Strafsenbrücke aus ermöglichen, wenn Brüche in den Leitungen zwischen den Brücken und der Osterröndfelder Maschinenanlage vorgekommen sind. Durch Einfügung von Absperrventilen an den Verbindungsstellen ist auch hier dafür Sorge getragen, daß die Brücken beliebig mit jeder der beiden Maschinenanlagen in Verbindung gesetzt oder außer Verbindung gebracht werden können.

Die Leitungen sind außerhalb der Maschinenanlagen frostfrei in den Erdboden verlegt. Der Uebergang auf die Drehpfeiler findet mit Hilfe einer kleinen eisernen Brücke statt, die an dem Drehpfeiler mit Steinschrauben befestigt ist und mit ihrem anderen Ende auf einem Mauerwerkkörper aufliegt, der nahe dem oberen Auslauf der Steinabdeckung des Canalufers angeordnet ist. Die Brücke ist aus zwei U-Eisen N.-Pr. Nr. 20 als Hauptträgern gebildet und sowohl oben wie unten mit Blech bekleidet. Die unteren Bleche sind mit den Flanschen der U-Eisen vernietet, die oberen dagegen mit Schrauben befestigt, um sie jederzeit leicht abnehmen zu können, wenn an den Rohren Arbeiten auszuführen sind. Innerhalb der kleinen Brücke, auf dem Drehpfeiler und auf dem beweglichen Ueberbau bestehen die Druckwasser- und Abwasser-Leitungen aus schmiedeeisernen Rohren mit aufgeschraubten und hart gelötheten schmiedeeisernen Flanschen. Die Leitungen auf der Brücke haben durchweg 38 mm lichten Durchmesser, im übrigen hat die Druckwasserleitung, soweit sie aus schmiedeeisernen Rohren besteht, 55 und die Abwasserleitung 65 mm Lichtweite.

Die Nothanlagen zum Bewegen der Osterröndfelder Eisenbahndrehbrücken. Sämtliche Bewegungsrichtungen der Brücken sind zwar so kräftig ausgebildet, daß sie die größtmögliche Sicherheit gegen Betriebsstörungen bieten, immerhin ist aber die Gesamtanlage so umfangreich und aus so vielen einzelnen Theilen zusammengesetzt, daß mit dem unerwarteten Eintreten von Brüchen, deren Beseitigung mehr als einige Stunden dauernde Arbeiten erfordert, gerechnet werden mußte. Um auch in solchen Fällen weder den Eisenbahnverkehr noch den Schiffsverkehr länger als zulässig unterbrechen zu müssen, sind besondere Einrichtungen geschaffen worden, mit deren Hilfe die Brücken selbst beim Versagen der Maschinenanlagen bewegt werden können.

Bei der Anordnung dieser Einrichtungen wurde davon ausgegangen, daß der Hebecylinder und der Hebekolben dergestalt kräftig ausgebildet sind, daß auf die volle Benutzbarkeit dieser Theile unter allen Umständen gerechnet werden kann. Für das Anheben der Brücken braucht also nur unabhängig von den Maschinenanlagen Prefsflüssigkeit hergestellt und in den Cylinder geleitet werden zu können. Für die Herstellung der Prefsflüssigkeit ist nun zwischen den beiden Brücken eine besondere kleine Maschinenanlage eingerichtet worden. Diese besteht aus einem vierpferdigen Petroleummotor, der

in einem kleinen Häuschen aufgestellt ist und eine Pumpe mit drei Tauchkolben mit Hilfe einer Riemenübertragung antreibt. Da die Pumpenarbeit infolge der Anordnung von drei Kolben sehr gleichmäßig ist und die Prefsflüssigkeit nur in den Hebecylinder gefördert wird, so konnte ein besonderer Accumulator in der kleinen Maschinenanlage entbehrt werden. Der unter der Belastung durch die Brücke stehende Hebecylinder bildet gleichsam selbst den Accumulator. Von der Pumpe ist je eine 25 mm im Lichten weite Rohrleitung nach jeder der beiden Drehbrücken geführt und dort an den Boden des Hebecylinders angeschlossen. Die Pumpenkolben haben 42 mm Durchmesser, ihr Hub beträgt 125 mm und die Pumpenleistung bei 50 Umdrehungen in der Minute 24 Liter Prefsflüssigkeit. Danach läßt sich jede Brücke in neun Minuten vollständig anheben, sodafs sie ausgedreht werden kann. Die zu pressende Flüssigkeit wird aus Behältern entnommen, die in dem Häuschen untergebracht sind und je genau denselben nutzbaren Inhalt haben wie die Hebecylinder. Für jede Brücke ist ein besonderer Behälter vorhanden. An den Behältern sind Wasserstandsgläser angebracht, an denen mit einer Marke bezeichnet ist, bei welchem Wasserstande die Brücken vollständig angehoben sind. Der den Petroleummotor und die Pumpe bedienende Mann ist also in der Lage, die Höhenlage der Brücke selbst zu beurtheilen und kann die Pumpe rechtzeitig abstellen, sodafs kein Ueberheben der Brücke stattfindet.

Dicht am Anschluß der von der Pumpe kommenden Leitung an den Hebecylinder ist in die Leitung ein Absperrventil eingebaut, das so lange, als der planmäßige Betrieb der Brücken im Gange ist, geschlossen sein muß und erst geöffnet wird, wenn zum Nothbetriebe übergegangen wird. Ebenso ist in der von der Steuervorrichtung im Brückenhäuschen nach dem Hebecylinder führenden Rohrleitung ein Ventil vorhanden, das aber in den umgekehrten Fällen geöffnet und geschlossen werden muß.

Mußten für das Heben der Brücken Einrichtungen beschafft werden, die verhältnismäßig kostspielig sind, so boten die Laufräder am Ende des kurzen Brückenarmes eine günstige Gelegenheit, die Drehvorrichtung billig und doch wirksam herzustellen. Es ist nämlich auf die Achse des einen der beiden Laufräder ein Kegelrad aufgebracht worden, in das ein zweites Kegelrad eingreift, das von einer Handkurbelvorrichtung mit doppeltem Vorgelege angetrieben werden kann. Die Handkurbelvorrichtung ist auf einer Bühne aufgestellt, die an dem Ueberbau befestigt ist, sich also auch mit ihm bewegt. Ist das leichtere Vorgelege eingerückt, so kann die Brücke von drei bis vier Mann in etwa acht Minuten geöffnet oder geschlossen werden, während bei stürmischem Wetter und Verwendung der größeren Uebersetzung 24 Minuten dazu erforderlich sind. Im letzteren Falle beträgt die wagerechte Schubkraft am Umfang der Laufräder rund 1500 kg.

Ist die Nothanlage in Betrieb genommen und planmäßig mit Mannschaften besetzt, dann läßt sich jede der beiden Brücken bei ruhiger Witterung und auch noch bei mäßigen Winden in etwa 20 Minuten öffnen und in etwa 15 Minuten schließen, während bei stärkeren Winden 35 bzw. 30 Minuten erforderlich sind. Nach Lage des Verkehrs auf der Eisenbahnlinie Neumünster—Rendsburg bleiben dann noch genügend lange Pausen, um den Verkehr auf dem Canal in einer solchen Ausnahmefällen Rechnung tragenden Weise aufrecht zu erhalten.

Im übrigen ist durch Beschaffung einer sehr reichlichen Anzahl von Ersatztheilen dafür vorgesorgt, daß etwa unbrauchbar gewordene Theile sofort oder während der ersten ausreichend langen Betriebspause ersetzt werden können, und

ebenso sind alle Geräte beschafft, die den schnellen Fortgang der Instandsetzungsarbeiten, wie z. B. das Auswechseln der Drahtseile der Drehvorrichtungen, erleichtern können.

Die Bauausführung. Die Vergebung der Arbeiten und der Lieferungen für die Herstellung der eisernen Ueberbauten und der Bewegungsvorrichtungen sowie der Gebäude für die Maschinenanlagen erfolgte auf dem Wege der öffentlichen Ausschreibung, die Herstellung der Pfeiler und Widerlager wurde der Bauunternehmung Ph. Holzmann u. Co. in Frankfurt a. Main im Anschluß an die vorher ausgeführten gleichartigen Arbeiten für die Drehbrücke über die Obereider bei Rendsburg freihändig übertragen. Die Unternehmung begann mit den vorbereitenden Arbeiten auf der Baustelle für die beiden Drehbrücken im August 1892. Die Baustelle wurde durch den bestehenden Eisenbahndamm durchschnitten, und da dieser Damm einen Ausgleich der Wasserstände in den westlich und östlich von ihm ausgehobenen Canalstrecken verhinderte, so mußte die Herstellung der im Canalquerschnitt liegenden Pfeiler bei für die beiden Brücken verschiedenen Wasserständen erfolgen. Bei Beginn der Arbeiten lag der Wasserspiegel östlich von dem Eisenbahndamm in gleicher Höhe mit dem damals noch nicht abgesenkten

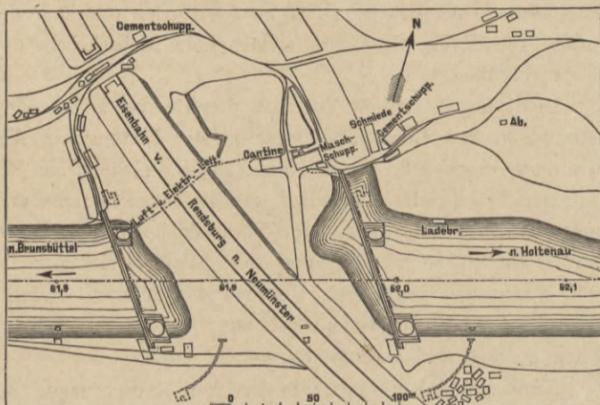


Abb. 309. Baustelle der Eisenbahnbrücken bei Osterröfnfeld im Juni 1893.

Wasserspiegel der Obereiderseen, auf der Höhe + 22,47. Vom 1. Januar 1893 an wurde das Wasser aus den Obereiderseen allmählich abgelassen, und am 9. Mai war der zukünftige Wasserspiegel des Kaiser Wilhelm-Canals erreicht. Von diesem Tage an behielt der Wasserspiegel bei der östlichen Brücke fast beständig die Höhe + 19,77. Bei der westlichen Brücke lag der Wasserspiegel während der ganzen für die Herstellung der Pfeiler in Betracht kommenden Zeit auf der Höhe + 21,0, die vorgekommenen Aenderungen hielten sich innerhalb enger Grenzen und waren für die Bauausführung ohne Belang.

Die Text-Abb. 309 zeigt einen Lageplan der Baustelle, der den Zustand derselben im Juni 1893 darstellt. Danach lagen die sämtlichen Baubetriebseinrichtungen nördlich vom Canal, auf dem südlichen Ufer lagerten nur die Ziegelsteine für das südliche Widerlager, den kleinen Stützpfiler des kurzen Brückenarmes und die Laufkranzmauer. Diese Anordnung war nothwendig, weil nur das nördliche Canalufer von öffentlichen Wegen aus gut zu erreichen und überdies dort in dem Eisenbahndamm eine Unterführung vorhanden war, die die gleichzeitige Benutzung der Baubetriebseinrichtungen für beide Brücken ermöglichte.

Die östliche Brücke wurde zuerst in Angriff genommen, und zwar wurden die Arbeiten derartig betrieben, daß gleichzeitig mit der Herstellung des Fördersteges und der Rüstung für den nördlichen Auflagerpfeiler die Herrichtung der verschiedenen Schuppen, die Aufstellung der Maschinen und

das Verlegen der Gleise erfolgte. Der nördliche Auflagerpfeiler und der Drehpfeiler beider Brücken wurden, wie bei der Erörterung des Bauentwurfs bereits mitgeteilt worden ist, unter Verwendung des Druckluftverfahrens gegründet. Die Text-Abb. 310 bis 313 geben über die Ausbildung des Senkkastens und der Rüstungen für die nördlichen Auflagerpfeiler, sowie über die allgemeine Anordnung des Schachtröhres und der Schleuse hinreichend Auskunft. Die Herstellung der Pressluft erfolgte in dem aus der Text-Abb. 309 ersichtlichen Schuppen. In demselben war eine Wolfsche Locomobile von 16 Pferdekräften Arbeitsleistung bei 120 Umdrehungen in der Minute aufgestellt, die eine Pressluftpumpe, eine Dynamomaschine und eine Wasserpumpe von 15 cbm stündlicher Leistung betrieb. Die letztere förderte das Wasser in einen Hochbehälter, von dem aus es den verschiedenen Arbeitsstellen in nach Bedarf verlegten Rohrleitungen zugeführt wurde. Die Pressluftpumpe hatte nur einen Cylinder mit 30 cm Kolbendurchmesser und 28 cm Kolbenhub und lieferte im Mittel 2,0 cbm Pressluft in der Minute. Die Kühlvorrichtungen waren so ausgebildet, daß die Pressluft beim Eintritt in den Senkkasten höchstens 18° Celsius Wärme hatte. Die Dynamomaschine machte 1310 Umdrehungen in der Minute und lieferte dabei 30 Ampère Strom von 110 Volt Spannung. Der elektrische Strom wurde für die Beleuchtung des Bauplatzes mit drei Bogenlampen, für vier Glühlampen im Maschinenschuppen und acht Glühlampen im Senkkasten und der Luftschleuse, sowie für den Antrieb der Fördermaschine in der Luftschleuse benutzt.

Bei der Gründung der Pfeiler für die Eisenbahndrehbrücken über die Obereider bei Rendsburg war es zum ersten Mal gelungen, die Fördermaschine ohne Störungen elektrisch anzutreiben. Während bei den früheren Versuchen die innerhalb der Luftschleuse angebrachte elektrische Antriebsmaschine wegen der Feuchtigkeit daselbst vielfach Betriebsstörungen unterworfen gewesen war, war bei der Obereiderbrücke der Versuch gemacht worden, die Antriebsmaschine außerhalb der Glocke aufzustellen, und damit war ein voller Erfolg erzielt worden. Die gleiche Einrichtung wurde nun bei der Gründung der Pfeiler für die Osterröfnfelder Eisenbahndrehbrücken benutzt. Die Antriebsmaschine war oberhalb der Glocke aufgestellt, und zwei Kegelräder aus Bronze, sowie eine in der Glockendecke durch eine Stopfbuchse abgedichtete Welle leiteten die Kraft zu der innerhalb der Glocke aufgestellten Fördermaschine. Die übrigen Einrichtungen entsprachen den von Brennecke in seinem „Grundbau“, Ausgabe vom Jahre 1887, auf Seite 233 gemachten Angaben über die beim Bau der Maasbrücke bei Rotterdam verwandte Schleuse. Eine Neuerung muß jedoch noch hervorgehoben werden, sie betrifft die Sicherheitsvorrichtung an den unteren Thüren der Erdhosen. Diese Thüren sind im ganzen Apparat die einzigen, die nicht durch den Luftdruck gegen ihre Dichtungen gepreßt werden. Infolge dessen ist ein unzeitiges, mit großen Gefahren für die in den Pressluftäumen beschäftigten Arbeiter verbundenes Oeffnen dieser Thüren möglich. Um das Oeffnen der Thüren unmöglich zu machen, solange die Luftspannung in den Erdhosen höher ist als der Atmosphärendruck, wurde an den Hosen je ein kleiner Cylinder mit einem Tauchkolben angebracht. Der Raum hinter dem Kolben steht durch einen Schlauch mit dem oberen Theil der Erdhose in Verbindung, und der hier herrschende Luftdruck drückt den Kolben so weit vorwärts, daß eine mit dem Kolben zusammenhängende, den einen Arm eines Kniehebels bildende Klinke in eine Nuth an dem überstehenden Rande der Erdhosenklappe eingreift. Die Klinke muß zurückgelegt werden, wenn die Erdhosenklappe geöffnet werden soll, das ist aber nur möglich, wenn hinter

dem kleinen Kolben und damit auch in der Erdhose selbst der Atmosphärendruck herrscht, und somit ist es unmöglich, die Erdhose zu unrechter Zeit zu öffnen. Um erkennen zu können, ob in der Erdhose noch Prefsluft vorhanden ist, ist an dem kleinen Cylinder ein Probirhähnchen angebracht. Die ganze Vorrichtung ist in der Text-Abb. 314 dargestellt.

Ueber einige bei der Druckluftgründung beobachtete Vorsichtsmaassregeln sei das folgende mitgetheilt. Die Zuführung der Druckluft erfolgte, damit den Arbeitern im Senkkasten die frische Luft zugeführt und beim Schleusen die

schiebbarer Ring gelegt, der, wie die Text-Abb. 315 zeigt, durch zwei Schrauben *s* mit dem Hahnkörper verbunden war und nur mit Hilfe eines besonders geformten Schraubenschlüssels gelöst werden konnte. Dieser Ring war in seiner oberen Fläche auf eine bestimmte Strecke eingekerbt, während das Hahnkücken einen Stift *b* in der Höhe der Kerbe trug. Je nach der Lage des Ringes konnte nur immer ein bestimmter Theil der Hahnöffnung frei gemacht werden, da das Anschlagen des Stiftes *b* an die senkrechte Begrenzungsfläche der Einkerbung das weitere Drehen des Kückens hinderte. Mit fortschreitender Gründungstiefe wurde der Ring so verschoben, dass die Hahnöffnung immer kleiner und damit die Dauer des Ein- und Ausschleusens immer grösser wurde. Die Vorrichtung hat sich durchaus bewährt. Bei heissem Wetter wurde die Glocke mit nassen Tüchern behängt, um das Wärmemass in ihr zu mildern. Die Dauer einer Arbeitsschicht betrug anfänglich vier Stunden, und innerhalb 24 Stunden durften die Arbeiter nicht länger als 8 Stunden unter Luftdruck arbeiten. Später wurde die Schichtdauer auf Ansuchen der Arbeiter unter ärztlichem Einverständnis abgeändert. Die Mannschaften blieben 8 Stunden hinter einander im Senkkasten und hatten dann 16 Stunden freie Zeit. Nach vier Stunden Arbeitszeit wurde jedoch eine Pause von 15 Minuten Dauer gemacht und während derselben den Mannschaften Thee gereicht. Diese Einteilung wurde von den Arbeitern vorgezogen, weil sie nur ein einmaliges Ein- und Ausschleusen erfordert und das Schleusen den Arbeitern unbequemer war als die Arbeit in der Druckluft.

In den mit Druckluft gefüllten Räumen waren ständig sechs Mann beschäftigt. Die 70,88 qm in der Grundfläche grossen Drehpfeiler wurden durchschnittlich in 24 Stunden um 0,30 m abgesenkt, die grösste Tagesleistung ist bei der westlichen Brücke erreicht worden, sie hat 0,66 m betragen. Die nördlichen Auflagerpfeiler haben eine 45,76 qm grosse Grundfläche des Senkkastens. Bei dem Pfeiler der östlichen Brücke betrug die mittlere Senkung 0,50 m, die grösste 0,80 m, bei der westlichen Brücke wurden nur 0,36 m und 0,65 m erreicht. Während der letzten 3 m der Senkung hingen die Pfeiler nicht mehr in den Ketten, da sie mit denselben doch nicht zu bewegen waren.

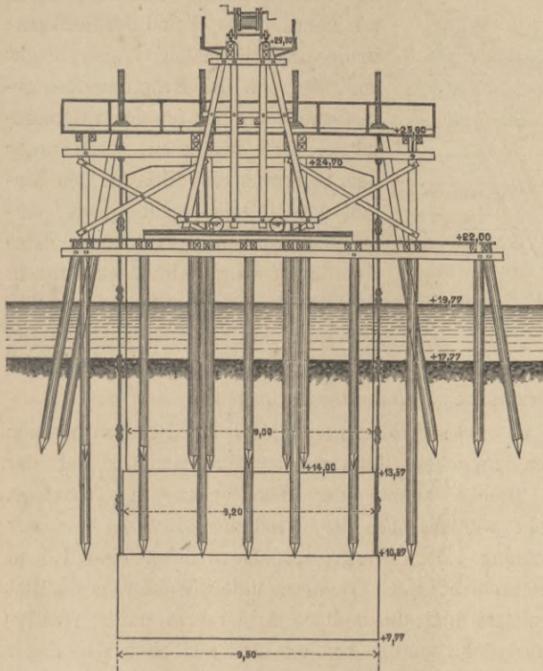


Abb. 310. Längenschnitt.

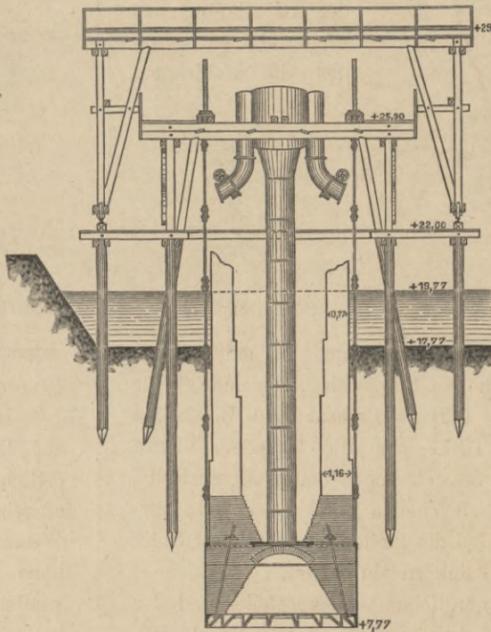


Abb. 311. Querschnitt.

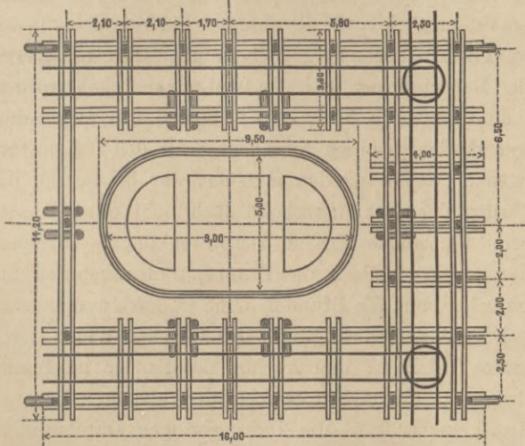


Abb. 312. Grundriss des Untergerüsts.

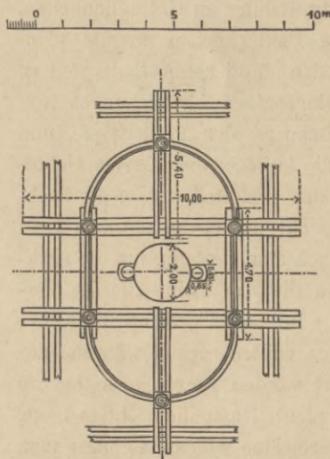


Abb. 313. Grundriss des Obergerüsts.

Abb. 310 bis 313. Gründung des nördlichen Auflagerpfeilers.

schlechte Luft ausgelassen wurde, mittels Schlauches von unten her in den Senkkasten. An der Mündung des Schlauches verhinderte ein selbstthätiges Ventil — eine einfache Klappe mit Gummidichtung — das plötzliche Entweichen der Druckluft für den Fall, dass die Luftzuleitung beschädigt wurde. Mit Hilfe dieser Klappe war es auch möglich, den Luftzuführungsschlauch zwecks Verlängerung abzuschrauben, so dass der Senkkasten ohne jede Verbindung mit der Luftpumpe war. Der Luftdruck im Senkkasten verminderte sich dann allmählich, der Druckwechsel fand aber so langsam statt, dass die Arbeiter die Veränderung nur an dem Aufhören des von dem Ventil am Luftzuführungsschlauch verursachten Geräusches wahrnahmen. Um sicherzustellen, dass die für das Ein- und Ausschleusen vorgeschriebene Zeit jederzeit innegehalten wurde, war um die Schleusungshähne je ein ver-

Für das Cubikmeter der fertigen Pfeiler, soweit sie zwischen den Höhen + 7,77 und + 21,0 liegen, wurden an die Bauunternehmung 85,0 *M* gezahlt. Dafür hatte diese mit Ausnahme des Cementes, der von der Bauverwaltung beschafft wurde, sämtliche Baustoffe und die Senkkasten zu liefern, die Rüstungen und Maschinenanlagen vorzuhalten

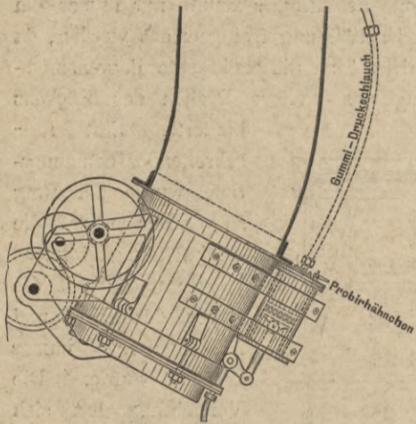


Abb. 314. Sicherheitsvorrichtung an den Klappen der Erdhosen.

und den unter Druckluft geförderten Boden bis 100 m weit zu schaffen und nach Angabe zu verbauen. Bei der Berechnung des Pfeilerinhaltes wurden die Hohlräume



Abb. 315. Schleusungshahn.

nicht abgezogen. Der Beton bestand aus 1 Theil Cement, 3 Theilen Sand und 6 Theilen Steinschlag, der Mörtel für das Ziegelmauerwerk aus 1 Theil Cement und 3 Theilen Sand. Bis zur Höhe + 18,77 sind die äußeren Flächen der Pfeiler mit einem 2 cm starken, glatten Cementputz, aus 1 Theil Cement und 3 Theilen Sand bestehend, versehen, oberhalb + 18,77 sind die Pfeiler abwechselnd 1 Stein und 1 1/2 Stein stark mit Klinkern verblendet.

Die Herstellung der nördlichen Auflagerpfeiler und der Drehpfeiler für beide Brücken verlief ohne jeden Unfall. Das ganze Verfahren bewährte sich durchaus, nur in einer Beziehung führte die Druckluftgründung zu Unträglichkeiten. Es gelang nämlich nicht, die Pfeiler genau an die planmäßige Stelle zu bringen. Bei den nördlichen Auflagerpfeilern ließen sich die übrigens geringfügigen Abweichungen von der richtigen Lage beim Aufmauern der Pfeilerköpfe und beim Verlegen der Quader für die Auflager der eisernen Ueberbauten leicht ausgleichen. Bei den Drehpfeilern war die Sachlage ungünstiger. Sie waren nicht nur etwas aus dem Loth gewichen, sondern sie hatten auch eine Drehung um die senkrechte Achse erfahren. Da nun die Werksteine für die Verankerung der Drahtseile und die Rohre, in welche die Anker des Seilkranzes eingesetzt werden sollten, schon während der Senkung der Pfeiler eingemauert worden waren, so hatten sie nach Beendigung der Senkung nicht genau die richtige Lage. Hätte man diesen Uebelstand vermeiden wollen, so hätte man die Werksteine und die Rohre erst nach der Senkung einmauern müssen. Dann wäre aber die Decke über der Arbeitskammer und das obere Mantelmauerwerk während der Senkung zu schwach gewesen, wie sich bei dem Drehpfeiler der Straßendrehbrücke bei Rendsburg, bei dem dieses Verfahren angewandt worden ist, herausgestellt hat. Um vollkommen sicher zu gehen, mußte man in ähnlichen Fällen auf die Anwendung eines vollständig eisernen Senkkastens nebst eisernem Mantel zurückgehen.

Die fehlerhafte Lage der Werksteine für die Verankerung der Drahtseile führte es mit sich, daß die Seilanker eine von dem Entwurf abweichende Lage im Verhältniß zu den Seilkränzen erhielten, und dementsprechend auch die Gußstahlkörper, mit deren Hülfe die Seile aus der wagerechten Lage in die nach dem Pfeilerinneren gerichtete Lage übergeleitet werden, eine ganz veränderte Form erhalten mußten. Es wurde nöthig, für jeden Gußstahlkörper an Ort und Stelle ein besonderes Modell anzufertigen, und dadurch

entstanden verhältnißmäßig nicht unbedeutende Kosten. Schwieriger aber war die Einbringung der Seilkranzanker in ihre Futterrohre. Hier blieb nichts anderes übrig als die Anker an der Stelle, an der sie aus dem Futterrohr in die Quader unter dem Seilkranz übergehen, zu kröpfen. Durch diese Kröpfung, die an einem Anker 7 cm betrug, wäre bei der höchsten Beanspruchung der Seile, die rund 100 t beträgt, ein so starkes Moment in dem Anker aufgetreten, daß ein Aufreißen desselben zu befürchten gewesen wäre. Deshalb wurde, nachdem der obere Theil des Futterrohres, wie aus

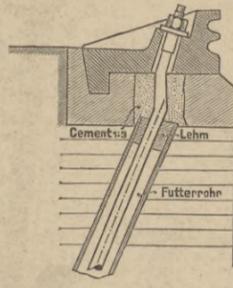


Abb. 316. Kröpfung der Seilkranzanker.

der Text-Abb. 316 zu ersehen ist, mit Lehm verstopft und der Seilkranz in die vorschriftsmäßige Lage gebracht war, der um die Kröpfung frei gebliebene Raum mit flüssigem Cementmörtel 1:3 vergossen, wozu unter dem Seilkranz eine Rille für den Einlauf des Mörtels in die Quader eingehauen worden war. Durch diese Anordnung wurde eine Aenderung in der Kröpfung, wenn nicht unmöglich gemacht, so doch ganz außer-

ordentlich erschwert, und bisher haben die gekröpften Anker zu Anständen keine Veranlassung gegeben.

Die nördlichen Widerlagerpfeiler beider Brücken wurden auf Beton zwischen Spundwänden gegründet. Bei der östlichen Brücke konnte der Beton ganz im Trockenen eingebracht werden, bei der westlichen Brücke war der Wasserandrang jedoch so groß, daß zunächst eine 1,5 m hohe Betonschicht mit Trichtern unter Wasser geschüttet werden mußte und die weitere Arbeit erst unter Wasserhaltung ausgeführt werden konnte. Die südlichen Widerlager beider Brücken, die kleinen Stützpfiler der kurzen Brückenarme und ebenso die Laufkranzmauern und die landseitigen Pfeiler der Bufferbrücken für die ausgeschwenkten Ueberbauten konnten ganz im Trockenen hergestellt werden. Die canalseitigen Pfeiler der Bufferbrücken und der Laufkranzbrücken wurden, wie aus den Text-Abb. 301, 303 u. 304 S. 99 zu ersehen ist, auf gemauerten Brunnen gegründet. An den Stellen, wo die Brunnen abgesenkt werden mußten, war bei Beginn der Bauausführung der Canalquerschnitt noch nicht unter Wasser ausgehoben. Es bedurfte deshalb zur Absenkung der Brunnen keiner Rüstungen, sondern die Brunnenkränze konnten auf den Boden gelegt und die Brunnen ohne weiteres aufgemauert werden. Die Senkung erfolgte in der üblichen Weise durch Belastung des Brunnens und Aushub des Sandes im Innern mit Sackbagern. Die Arbeit war bei den kleineren Brunnen für die Laufkranzbrücken, die ihres geringen Durchmessers wegen nicht stark belastet werden konnten, dabei aber in dem Sandboden eine sehr starke Reibung erfahren, ziemlich langwierig. Bei dem Brunnen für die östliche Bufferbrücke trat ein Unfall ein. Der Brunnen war hart an der Böschungskante des Aushubes herzustellen. Als er etwa 4 m hoch aufgemauert war, ohne abgesenkt zu sein, drückte er sich an der Canalseite etwas tiefer ein, der Boden gab hier immer mehr nach, und schließlich stürzte der Brunnen in den Canal. Da er sich dabei vollkommen umgekehrt hatte, konnte der Schling abgenommen und wieder benutzt werden. Nachdem das Ufer durch Sandanschüttung verbreitert worden war, erfolgte die Ausführung des neuen Brunnens ohne jede Störung.

Gleichzeitig mit der Ausführung der Pfeiler und Widerlager auf der Baustelle erfolgte die Herstellung der Ueberbauten in der Brückenbauanstalt und der Bewegungsvorrichtungen in der Maschinenfabrik. Bei der öffentlichen Ausschreibung dieser Theile der Brücken hatte die Firma Haniel u. Lueg in Düsseldorf-Grafenburg das zweckent-



Abb. 319. Eisenbahndrehbrücken bei Osterrönnfeld. Von Westen gesehen. Mai 1895.  
Die westliche Brücke ist ausgedreht, die östliche geschlossen.





Abb. 320. Eisenbahndrehbrücken bei Osterrönnfeld. Von Osten gesehen. Mai 1895.  
Die östliche Brücke ist geschlossen, die westliche ausgedreht.



sprechendste Angebot abgegeben und darauf den Zuschlag erhalten. Sie verband sich mit der Brückenbauanstalt Harkort derartig zur gemeinsamen Ausführung des gesamten Werkes, daß die Brückenbauanstalt die Herstellung der Ueberbauten und des Tragwerkes der Hubvorrichtung übernahm, während Haniel u. Lueg die Maschinen und die Bewegungsvorrichtungen ausführte. Die Entwürfe für die Ueberbauten und die allgemeine Anordnung der Bewegungsvorrichtungen sind in der Kaiserlichen Canal-Commission bearbeitet worden; die Durcharbeitung der Entwürfe für die Maschinenanlage und die Bewegungseinrichtungen sowie die Ausarbeitung sämtlicher Einzelheiten dazu wurde jedoch von Haniel u. Lueg im Einvernehmen mit der Bauverwaltung bewirkt.

Die Arbeiten auf der Brückenbaustelle begannen im September 1893 und zwar mit der Herstellung des Aufstellungsgerüsts für die östliche Brücke. Die Gerüste beider Brücken wurden so erbaut, daß die fertig zusammengesetzten Ueberbauten auf ihre dem eingeschwenkten Zustande entsprechenden Auflager abgelassen werden konnten. Die Text-Abb. 317 zeigt einen Querschnitt des Gerüsts nahe dem

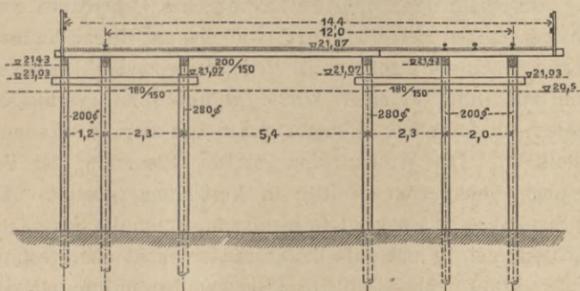


Abb. 317. Querschnitt im mittleren Theil des Gerüsts.

Drehpfeiler, die Text-Abb. 318 einen solchen nahe dem Ende des langen Brückenarmes, wo der mittlere Theil des Gerüsts wegen der höheren Lage der Hauptträger-Untergurte höher lag, als die seitlichen Theile, auf denen die

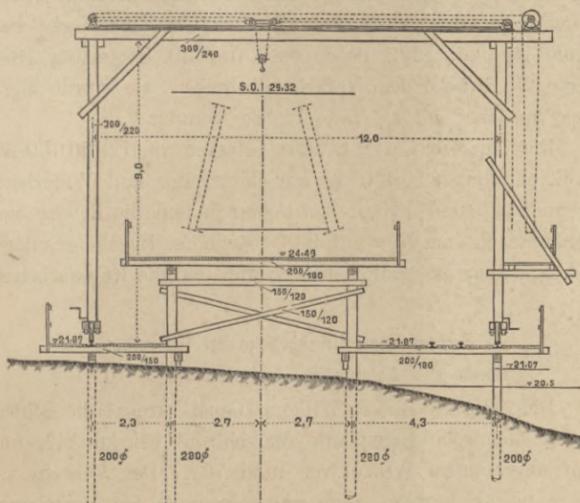


Abb. 318. Querschnitt der Endtheile des Gerüsts.

Laufschiene für den beim Aufstellen der Ueberbauten benutzten und in der Text-Abb. 318 dargestellten Laufkran lagen. Die eigentlichen Arbeiten an den Brückenüberbauten und ihren Bewegungsvorrichtungen begannen Ende October mit dem Einbringen der Seilkranzanker und dem Verlegen der Seilkranze für die östliche Brücke. Die Arbeiten wurden dann so betrieben, daß der erste Hebe- und Drehversuch — mit Handpumpen und Flaschenzügen — Ende März 1894 vorgenommen, und die östliche Brücke am 11. April dem Verkehr, zunächst als feste Brücke, übergeben werden konnte. Als solche wurde sie dann bis Mitte August benutzt, und zwar diente sie zur Ueberführung sämtlicher Züge der

zweigleisigen Bahn Neumünster—Rendsburg, weil der alte Bahndamm zwischen den beiden Brücken während dieser Zeit schon abgetragen werden mußte. Diese Abtragung durfte nicht länger aufgeschoben werden, um den Unternehmern der Erdarbeiten im Lose IX die Möglichkeit zu geben, die in der Canalstrecke westlich von der Brückenbaustelle noch auszuführenden Baggerarbeiten innerhalb der vertragsmäßigen Frist vollenden zu können.

Bei der westlichen Brücke stand der vollständigen Fertigstellung als Drehbrücke nichts im Wege und, da die Maschinenanlage mit den Rohrleitungen unterdessen ebenfalls fertig gestellt worden war, konnten Ende Juli 1894 die ersten Hebe- und Drehversuche mit Druckwasser gemacht werden. Die nächsten Monate vergingen über der vollständigen Fertigstellung aller Anlagen, der Abstellung der bei den Probewebungen bemerkten kleineren Mängel, der Aufstellung der Eisenbahn- und Canalsignale und der Einübung der bei den Brücken beschäftigten Mannschaften. Am 7. Februar 1895 begann die im Verträge vorgesehene zweimonatliche Probezeit, nach deren Ablauf die Brücken der Firma Haniel u. Lueg als vertragsmäßig abgenommen werden konnten. Auch bei dem späteren Betriebe haben die Brücken nicht nur jederzeit den Bestimmungen des Vertrages, sondern auch den vom Standpunkte des Eisenbahn- und des Canalbetriebes zu stellenden Anforderungen entsprochen, sodas sie als durchweg wohlgelungene Bauwerke bezeichnet werden können. Die Text-Abb. 319 u. 320 zeigen zwei Schaubilder von den Eisenbahnbrücken.

Die Gesamtkosten der beiden Brücken betragen 1350 000  $\mathcal{M}$ , davon entfallen 410 000  $\mathcal{M}$  auf die Pfeiler und Widerlager, 670 000  $\mathcal{M}$  auf die Ueberbauten einschl. der Maschinenanlage und der Bewegungsvorrichtungen und der Rest auf den Eisenbahnoberbau, auf die Gebäude der Maschinenanlage, die Signaleinrichtungen und die sonstigen kleineren Nebenarbeiten. Die Eisenbahndämme sind aus den beim Canalaushub gewonnenen Bodenmassen angeschüttet worden und haben deshalb nachweisbare Kosten nicht verursacht.

#### d. Die Strafsenbrücke bei Rendsburg.

Hierzu die Abbildungen auf Blatt 49 und 50.

Die Brücke liegt im Zuge der Landstraße von Rendsburg nach Itzehoe. Südlich von der Brücke zweigen von dieser Landstraße die Wege nach den mit Rendsburg in sehr lebhaftem Verkehr stehenden Ortschaften Osterröfeld und Westerröfeld und außerdem der Zugangsweg zu dem Uebungsplatz der Rendsburger Garnison ab. Infolge dessen ist der Verkehr über die Brücke sehr lebhaft. Der Lageplan, Abb. 1 Blatt 8 der Abtheilung I dieser Denkschrift, zeigt die Landstraße und die von ihr abzweigenden Wege, in der Abb. 10 Blatt 46 und 47 ist ein Einzel-Lageplan der Brücke in größerem Maßstabe gegeben. Die Brücke kreuzt den Canal rechtwinklig und muß deshalb beim Oeffnen und Schließen um  $90^\circ$  gedreht werden; außerdem ist sie um reichlich 100 t schwerer als die Osterröfelder Eisenbahn-Drehbrücken und dementsprechend mit einem 1360 mm statt 1250 mm starken Hebekolben ausgestattet. Im übrigen zeigen die Bewegungsvorrichtungen jedoch keinerlei Abweichungen von den oben bei der Erörterung der Eisenbahndrehbrücken beschriebenen Anlagen. Ebenso sind die Pfeiler und Widerlager in allen wesentlichen Theilen gleichartig ausgebildet; nur der nördliche Auflagerpfeiler zeigt insofern eine Abweichung, als er bei der Strafsenbrücke bis zur Fahrbahnhöhe hinaufgeführt ist und diese, wie die Abb. 1 u. 2 Bl. 49 u. 50 zeigen, mit zwei architektonisch ausgebildeten Brüstungspfeilern sogar überragt. Erhebliche Abweichungen

weist dagegen sowohl der bewegliche Ueberbau wie auch die Ueberbrückung der kleinen Seitenöffnung auf.

Die Landstraße von Rendsburg nach Itzehoe liegt an der Kreuzungsstelle mit dem Kaiser Wilhelm-Canal annähernd auf der Höhe + 27,20, also etwa 7,4 m über dem mittleren Wasserstande des Canals. Diese Höhe war zu gering, als daß die Hauptträger des beweglichen Ueberbaues hätten unter die Fahrbahn gelegt werden können, und es wurde deshalb erforderlich, den Obergurt über die Fahrbahn hervorragen zu lassen. Er liegt mit seiner Unterkante rund 2 m über der Fahrbahn, sodafs ein Mann bequem unter ihm durchgehen kann. Die Entfernung der Hauptträger beträgt 6,15 m von Mitte zu Mitte, die zwischen den Obergurten verbleibende lichte Weite, also die nutzbare Breite der Fahrbahn, 5,50 m. Die auferhalb der Hauptträger liegenden, von Kragträgern unterstützten Fußwege haben je 1,27 m nutzbare Breite. Die Querträger liegen in Entfernungen von je 3,64 m, sie sind durch Stroben gegen den unteren Längsverband abgestützt und versteifen so in Verbindung mit den zwischen den Hauptträger-Untergurten angeordneten Querstreben den Querschnitt der Brücke. Die Querträger tragen vier Längs-I-Eisen, die zur Auflagerung von U-Eisen dienen, auf denen der doppelte Bohlenbelag der Fahrbahn aufruhet. Beide Beläge bestehen aus Eichenholz, der untere ist 10 cm, der obere 4,5 cm stark. Die Fußwege sind mit eichenen Längsbohlen von 5 cm Stärke abgedeckt, sie haben Querfälle 1:30 nach der Brückenmitte zu. Das gleiche Querfälle hat die Fahrbahn. Die Breite der Brücke zwischen den Geländern beträgt rund 9 m. Die Abb. 3 Bl. 49 u. 50 zeigt einen Brückenquerschnitt.

Die Länge der beweglichen Ueberbauten, gemessen zwischen den Mitten der Hauptträger-Endpfosten, beträgt 91,90 m. Davon entfallen 55,05 m auf den langen und 36,85 m auf den kurzen Arm. Diese Mafse sind der rechtwinkligen Kreuzung des Canals durch die Brücke wegen kleiner als bei den Osterrönfelder Eisenbahnbrücken. Das Stabnetz und die Form der Stabquerschnitte stimmt bei den Hauptträgern beider Brücken fast vollständig überein, dagegen mußten die Längs- und Querverbände abweichend ausgebildet werden. Von den Querverbänden der Straßenbrücke ist oben schon gesprochen worden. An Längsverbänden konnte nur einer und zwar in Höhe des Untergurtes angeordnet werden, während bei den Eisenbahnbrücken sowohl die Obergurte wie die Untergurte gegen einander versteift sind. Solange die Brücke auf ihren Auflagern aufruhet, reicht der untere Längsverband vollständig aus, um die wagerechten auf den beweglichen Ueberbau einwirkenden Kräfte auf die Pfeiler zu übertragen. Ist die Brücke angehoben, dann müssen diese Kräfte von dem Tragwerk der Hubvorrichtung und weiterhin von dem Drehpfeiler übernommen werden. Um sie dorthin zu leiten, sind die beiden dem Doppelquerträger über dem Drehpfeiler benachbarten Querverbände besonders kräftig ausgebildet und die zugehörigen Querträger in Höhe ihres Untergurtes mit dem Doppelquerträger durch entsprechend bemessene Schrägstreben versteift. Diesen Verbänden fällt auch die Aufgabe zu, die infolge des Angriffes von Winddruckkräften und des Seilzuges auf die Brücke ausgeübten Verdrehungsmomente, welche die Brückenenden theils zu heben, theils zu senken streben, unschädlich zu machen. Um die Kräfte, die dabei von den Verbänden aufzunehmen sind, thunlichst zu vereinigen, sind die Laufrollen am Ende des kurzen Brückenarmes nicht wie bei der Osterrönfelder Brücke unter der Brückenmitte, sondern thunlichst weit davon angebracht. Infolge des Seilzuges erhalten die Laufräder nämlich eine Belastung, und das Moment der Raddrucke wirkt dem verdrehenden Moment

entgegen und verkleinert infolge dessen die Spannungen in den gegen die Verdrehung angeordneten Verbänden. Die Entfernung der Laufrollen von einander beträgt 7,8 m, die Achsen der Laufrollen sind auf Kragträgern, die ausfen an den Hauptträgern angebracht sind, gelagert. Um die Momente des auf die beiden Brückenarme wirkenden Winddruckes möglichst gleich zu erhalten, ist auch bei der Straßenbrücke in den kurzen Arm eine Wellblechwand eingebaut. Damit diese auch wirklich von dem Winde, und zwar mit derselben Stärke wie der lange Brückenarm getroffen werden kann, mußte auf dem südlichen Canalufer eine nicht unbeträchtliche Abgrabung ausgeführt werden. Die kleine Seitenöffnung ist mit sieben Blechträgern überbrückt; die Fahrbahn ist dort ebenso ausgebildet wie auf dem beweglichen Ueberbau.

Der Berechnung der Ueberbauten wurde eine Belastung durch Menschengedränge, entsprechend 400 kg auf das qm, zu Grunde gelegt; die Fahrbahn ist außerdem noch für einen vierrädrigen Wagen von 20 t Gewicht berechnet. Im übrigen ist die Berechnung unter den bei der Beschreibung der Osterrönfelder Brücken angegebenen Annahmen erfolgt.

Auferhalb der Enden des beweglichen Ueberbaues sind Schlagschranken derselben Art, wie sie an Eisenbahnübergängen üblich sind, aufgestellt. Jede dieser beiden Schranken kann mit Hilfe je einer Winde geöffnet und geschlossen werden, die an dem Steuerhäuschen auf der Brücke aufgestellt ist. Die Winden sind mit der Steuerung der Bewegungsvorrichtungen derartig in Verbindung gesetzt, daß die Steuerung erst bewegt werden kann, wenn die Schranken geschlossen sind, und daß die Schranken nicht eher geöffnet werden können, als bis die drei Steuerkolben in ihre unterste Stellung gebracht und in dieser durch Umlegen des am Grundrahmen der Steuerung angebrachten Hebels verriegelt sind. Mit den Winden sind ferner Läutewerke verbunden, die erst zum Ertönen gebracht sein müssen, ehe die Winden bewegt werden können.

Mit der Bauausführung der Brücke, die denselben Unternehmern wie die der Osterrönfelder Brücken übertragen war, wurde im Juni 1893 begonnen. Am 20. September 1894 wurde die Brücke dem Verkehr übergeben, sie wurde allerdings zunächst nur als feste Brücke benutzt.

Die Baukosten der Brücke betragen rund 800 000  $\mathcal{M}$ , davon entfallen 240 000  $\mathcal{M}$  auf die Pfeiler und Widerlager und rund 470 000  $\mathcal{M}$  auf den Ueberbau und die Bewegungsvorrichtungen, der Rest auf die Gebäude der Maschinenanlage, die Abgrabung am südlichen Canalufer und die Nebenarbeiten.

#### e. Die Eisenbahn-Drehbrücke bei Taterpfahl.

Hierzu die Abbildungen auf Blatt 49 bis 51.

Die Linie des Kaiser Wilhelm-Canals kreuzt die Schleswig-Holsteinische sogenannte Marschbahn bei km 5,7, und zwar unter einem Winkel von rund 70°. Der Verkehr auf dieser normalspurigen, nur mit einem Gleise versehenen Bahn ist geringer als auf der Eisenbahn von Neumünster nach Rendsburg, und außerdem hat die Marschbahn nicht die hervorragende strategische Bedeutung jener Bahn. Es wurde deshalb nur eine eingleisige Brücke vorgesehen und nicht für nöthig erachtet, hier ebenso wie bei Osterrönfeld zwei eingleisige Brücken neben einander zu erbauen. Bei der alten Bahnlinie lag die Schienenoberkante an der Kreuzungsstelle mit dem Kaiser Wilhelm-Canal auf der Höhe + 20,87, also nur wenig mehr als 1 m über dem gewöhnlichen Canalwasserstande. Für die Brücke wurde die Höhenlage der Oberkante des Drehpfeilers in Uebereinstimmung mit der Höhenlage bei den übrigen Drehbrücken zu 1,50 m über dem höchsten, im Canal zulässigen Wasserstande festgesetzt, damit die durch die Fahrt von Schiffen und bei Sturm im

Canal entstehenden Wellen nicht auf den Drehpfeiler heraufschlagen und die dort befindlichen Theile der Bewegungsvorrichtungen annässen können. Hiernach ergab sich die Höhenlage der Schienenoberkante auf der Brücke mit Rücksicht auf die für die bauliche Ausbildung, besonders der Hebeeinrichtung, erforderliche Höhe zu  $+24,37$ , also zu  $3,50$  m höher als bisher.

Dieser Umstand, der Wunsch, die Brückenlängsachse senkrecht zur Canalmittellinie zu legen, und die Nothwendigkeit, den Betrieb auf der alten Bahnlinie während der Erbauung der Brücke ungestört aufrecht zu erhalten, brachten es mit sich, daß im Zusammenhang mit dem Brückenbau eine Verlegung der Eisenbahnlinie auf rund  $1,5$  km Länge ausgeführt werden mußte. Aus der Abb. 1 auf Bl. 6 u. 7 der Abtheilung I dieser Denkschrift ist die Belegenheit der Brücke zu ersehen. Der Uebergang von der Brücken-Wagerechten zu dem bestehenden Gleis wird durch Rampen mit den Neigungen  $1:300$  bzw.  $1:290$  bewerkstelligt. Bei der Feststellung der Linie für die Eisenbahnverlegung wurde darauf Rücksicht genommen, daß, wenn die Marschbahn in Zukunft mit einem zweiten Gleise versehen wird, dann auch eine zweite Brücke ohne Betriebsstörung erbaut werden kann.

In der allgemeinen Anordnung stimmt die Taterpfahler Brücke mit den Anlagen bei Rendsburg und Osterrönfeld vollständig überein. Hier wie dort sind drei Brückenöffnungen vorhanden, von denen die große mittlere für die Durchfahrt der Schiffe bestimmt ist, die südliche durch den beweglichen Ueberbau und die nördliche durch einen festen Ueberbau überbrückt wird. Bezüglich der Ueberbauten selbst, der Gründung eines Theiles der Pfeiler und der Ausbildung einzelner Theile der Bewegungsvorrichtungen sind jedoch beträchtliche Abweichungen vorhanden. Bei den Bewegungsvorrichtungen betreffen diese Abweichungen aber nicht die Wirkungsweise der Anlage, auch nicht die Ausgestaltung der Maschinen derselben, sondern sie beschränken sich lediglich auf die durch die anderweitige Ausbildung des beweglichen Ueberbaues gebotenen Abänderungen und Ergänzungen.

Der Baugrund war sowohl bei den Osterrönfelder Eisenbahnbrücken wie bei der Rendsburger Straßenbrücke so günstig gewesen, daß die Endwiderlager und die kleineren Pfeiler theils ohne weiteres, theils auf einem Betonbett hatten aufgemauert werden können. Bei Taterpfahl lagen die Verhältnisse ungünstiger. Der Baugrund bestand aus Klei, dem mit zunehmender Tiefe mehr und mehr Sand beigemischt war, der Sand war theilweise in Gestalt von Lagern in den Klei eingebettet und führte dann ziemlich viel Wasser, theilweise war er in dem Klei mehr oder minder gleichmäßig vertheilt. Es war infolge dessen nicht angängig, die Pfeiler und Widerlager in durch Pumpwerke trocken gelegten Baugruben herzustellen, und es wurde für den Drehpfeiler und den nördlichen Auflagerpfeiler wieder die Druckluftgründung gewählt, während die Widerlager und die kleineren Pfeiler wie auch die Laufkranzmauer auf einem Pfahlrost aufgemauert wurden. Die Spitzen der Pfähle reichen bis zur Tiefe  $+10$  hinab, die Unterkante der Senkkasten liegt  $3$  m unter der Canalsole, die auf der Brückenbaustelle die Höhenlage  $+9,72$  hat. Abgesehen von der Gründung und einigen Abweichungen im oberen Theil des Drehpfeilers, die durch die anderweitige Gestaltung des Tragwerks für die Hubvorrichtung hervorgerufen wurden, stimmen die Pfeiler und Widerlager mit denen der Osterrönfelder Eisenbahnbrücken im wesentlichen überein.

Während bei Osterrönfeld die Fahrbahn auf den Hauptträgern und bei Rendsburg in halber Höhe zwischen den Ober- und Untergurten liegt, sind bei Taterpfahl die Querträger der Fahrbahn zwischen die Untergurte der Hauptträger

eingebaut. Die Höhenlage der Schienenoberkante war dabei in erster Linie von der Höhe abhängig, die dem auch bei der Taterpfahler Brücke angeordneten Doppelquerträger, der das Gewicht der Brücke während des Hebens und Drehens auf die Hebevorrichtung und damit auf den Drehpfeiler überträgt, gegeben werden mußte. Außerdem mußte selbstverständlich zwischen der Unterkante des Doppelquerträgers und der Oberkante des Drehpfeilers der für den Seilkranz, die Auflager und die Bewegungsvorrichtungen nöthige Raum verbleiben. Um die Schienenoberkante möglichst tief zu erhalten, liegen die Schienen auf die Länge zwischen den der Drehpfeilermitte benachbarten Querträgern auf Zwillingen-Längsträgern, die von diesen Querträgern als Endauflager und dem Doppelquerträger als Mittelaflager getragen werden. Auf dem übrigen Theil des beweglichen Ueberbaues und ebenso auf der Ueberbrückung der nördlichen Seitenöffnung ruhen die Schienen auf eichenen Querbalken auf, die von eisernen Längsträgern unterstützt werden. Der auf den Balken liegende Bohlenbelag ist genau so wie bei den Osterrönfelder Brücken angeordnet. Die Längsträger haben  $1,8$  m Entfernung von einander, sie sind über die Querträger hinweggestreckt und durch Winkeleisen, die ihren Obergurt mit den Querträgern verbinden, gegen Umkippen gesichert. Die Stöße sind freischwebend mit einer Bolzenauflagerung angeordnet. Der Bolzen, der an der einen Seite rund, an der andern Seite flach ist, gestattet eine Verschiebung und eine Drehung. Die Verschiebbarkeit in den Längsträgerstößen ist in Rücksicht auf den Wechsel der Spannungen in den Hauptträgern, wie er beim Anheben und Bewegen der Brücke dem Ruhezustande gegenüber eintritt, erwünscht. Zwischen den Obergurten der Zwischenträger ist ein wagerechter Längsverband angeordnet, gegen den die Untergurte durch Winkeleisen abgestützt sind. Um die beim Bremsen und beim Anziehen von Locomotiven auf die Eisenbahnschienen in der Richtung der Brückenlängsachse einwirkenden wagerechten Kräfte auf die Hauptträger zu übertragen, sind die Längsträger in der aus Abb. 4 u. 5 auf Bl. 49 u. 50 ersichtlichen Weise gegen den in der Höhe der Hauptträger-Untergurte liegenden Längsverband abgestützt. An dem Ende des kurzen Brückenarmes ist ebenso wie bei den Osterrönfelder Brücken ein Pendelschlitten angeordnet.

Die Hauptträger sind von Mitte zu Mitte  $4,6$  m von einander entfernt, ihre Länge beträgt, gemessen zwischen den Endquerträgern,  $95,94$  m, davon entfallen  $56,61$  m auf den langen und  $39,33$  m auf den kurzen Brückenarm. Der Untergurt liegt in seiner ganzen Länge wagerecht, die Obergurt-Wagerechte ist an jedem Ende um eine Querträger-Entfernung kürzer als der Untergurt. Die Trägerhöhe beträgt, gemessen zwischen den Gurtschwerpunkten,  $7$  m und ist so groß gewählt, damit auch zwischen die Obergurte ein vollständiger Längs- und Querverband eingebaut werden konnte. Für die Wandglieder ist das einfache Dreiecknetz gewählt worden, die Schrägstreben desselben sind sämtlich steif ausgebildet. Die Querträger schliessen zur Hälfte an die Knotenbleche des Untergurts an, zur Hälfte sind sie an die den Obergurt und den Untergurt verbindenden, an den Knotenpunkten des ersteren angeordneten Pfosten angeschlossen. Die Querschnitte der Gurte, der Schrägstreben und der Pfosten sind ebenso ausgebildet, wie bei den übrigen Drehbrücken. Dies gilt auch für den Doppelpfosten über der Mitte des Drehpfeilers.

An Längsverbänden besitzt der bewegliche Ueberbau zwei, je einen in Höhe der unteren und der oberen Gurtung. Beide Verbände haben steif ausgebildete, gekreuzte Schrägstreben, bei dem unteren Verbands dienen die Querträger als Pfosten, bei dem oberen werden die Pfosten durch kleine,

zwischen die Obergurte der Hauptträger eingebaute Gitterträger gebildet. Um die auf den Obergurt und die anschließenden Theile der Schrägstreben und der Pfosten einwirkenden Winddruckkräfte, sowie die während des Bewegens der Brücke auftretenden, aus dem Trägheitsmoment der bewegten Massen hervorgehenden wagerechten Kräfte von dem oberen Längsverband auf den unteren, von dem sie nach den Auflagern bezw. dem Drehpfeiler weiter geleitet werden müssen, übertragen zu können, sind die beiden Endpfosten sowie der Doppelpfosten über der Drehpfeilermitte je mit den daselbst befindlichen Querträgern und Obergurt-Querverbänden zu steifen Rahmen ausgebildet. Die Abmessungen dieser Rahmen sind so bestimmt, als ob die übrigen Pfosten der Brücke keinerlei wagerechte Kräfte zwischen dem Ober- und Untergurt übertragen, während diese Pfosten tatsächlich eine Entlastung der Rahmen herbeiführen werden.

Die Auflager des beweglichen Ueberbaues sind genau ebenso wie bei den Brücken von Osterröfelfeld und Rendsburg ausgebildet, dagegen zeigt die Lagerung der Drehcylinder einige Abweichungen. Während die Drehcylinder bei den früher besprochenen Brücken unterhalb der Fahrbahn und zwischen den Hauptträgern liegen, mußten sie bei der Taterpfahler Brücke annähernd in gleicher Höhe mit der Fahrbahn und deshalb seitlich und außerhalb der Hauptträger angeordnet werden. Sie ruhen dort auf kräftigen Auskragungen und sind ebenso wie bei den übrigen Brücken durch abnehmbare Wellblechüberdachungen gegen die Unbilden der Witterung geschützt. Um die Momente der auf die beiden Brückenarme wirkenden Winddruckkräfte thunlichst gleich groß zu erhalten, ist auch bei der Taterpfahler Brücke an dem kurzen Brückenarm eine Wellblechwand vorgesehen. Sie ist in der Abb. 4 auf Blatt 49 und 50 nicht dargestellt, sie befindet sich in der Schwerpunktsebene des einen Hauptträgers.

Besondere Schwierigkeiten machte die Ausbildung der Vorrichtungen, durch welche die wagerechten, auf die angehobene Brücke einwirkenden Kräfte auf den Drehpfeiler übertragen werden. Diese Schwierigkeiten ergeben sich einmal aus dem Umstande, daß die Auflagerung des Brückenüberbaues auf der Hubvorrichtung tief unterhalb des Schwerpunktes des Winddruckes liegt, und ferner aus der Unmöglichkeit, das Tragwerk des Hubcylinders bei der geringen zur Verfügung stehenden Bauhöhe so steif auszubilden, daß es die auftretenden großen Momente mit der nöthigen Sicherheit aufzunehmen und auf den Drehpfeiler weiterzugeben vermöchte. Die infolge des Seilzuges entstehenden, in der Längsrichtung der Brücke wirkenden Kräfte von der Hubvorrichtung fern zu halten, war unmöglich, dagegen wurde in der Anordnung eines Drehschemels ein Mittel gefunden, um ein seitliches Umkippen der Brücke, wie es der auf sie einwirkende Winddruck herbeizuführen sucht, zu verhüten. Der Drehschemel, dessen Ausbildung aus den Abbildungen auf Blatt 51 zu ersehen ist, besteht aus zwei in einem rechten Winkel nach aufwärts gekrümmten Hauptträgern, deren wagerechte Schenkel senkrecht zur Brückenlängsachse stehen. Diese Schenkel sind an beiden Enden durch kastenförmige Träger mit einander verbunden, und ebenso sind auch die oberen Enden der nach aufwärts gerichteten Schenkel kräftig gegen einander versteift. Die Verbindungen der Hauptträger mit den beiden kastenförmigen Trägern und die Versteifungen sind so ausgebildet, daß das Eisenwerk ein starres Ganzes bildet. Unter den beiden kastenförmigen Trägern, und zwar genau in der Mitte zwischen den Hauptträgern des Drehschemels, ist je ein Drehbolzenlager angeordnet. Der Obertheil jedes Lagers ist an dem zugehörigen kastenförmigen Träger angebracht, der Untertheil ruht auf einem von zwei hinter einander angeordneten

Rädern getragenen Wagen. Die Räder der beiden Wagen laufen auf dem entsprechend ausgebildeten, auf dem Drehpfeiler verlegten gußeisernen Seilkrans und übertragen somit das Gewicht des Drehschemels auf den Drehpfeiler. Dieses Gewicht ist nicht gleichmäßig vertheilt, da die Seite des Drehschemels, auf der sich die nach oben gekrümmten Arme der Hauptträger befinden, naturgemäß schwerer ist. Um diesen Unterschied auszugleichen, ist die andere Seite des Drehschemels durch Ballast, der in dem zugehörigen kastenförmigen Querträger untergebracht ist, beschwert, und die Beschwerung ist so bemessen, daß die vier Laufräder je dieselbe Last auf den Drehpfeiler übertragen.

Der Drehschemel ist nun derartig mit dem Brückenüberbau verbunden, daß er dessen Drehung mitmacht und den Ueberbau in jeder beliebigen Lage gegen Umkippen in der Richtung senkrecht zu seiner Längsachse sichert, dagegen das Anheben und Absenken der Brücke, sowie die dabei eintretende Bewegung um das Kipplager auf dem Hebelkolben nicht hindert. Dieses Kipplager ist bei den Osterröfelfelder Eisenbahnbrücken und bei der Rendsburger Straßenbrücke als Bolzen-Kipplager ausgebildet, wobei der Gelenkbolzen der Breite der Brücke nach liegt und so lang gemacht ist, daß die Brücke durch Winddruck und Seilzug nicht zur Seite kippen kann. Bei der Taterpfahler Brücke soll der Drehschemel die in dieser Richtung wirkenden Kräfte aufnehmen, und deshalb durfte das Lager auf dem Hebelkolben nicht mit einem Drehbolzen versehen werden, sondern mußte so ausgebildet werden, daß es einem Ueberneigen des Brückenüberbaues nach allen Richtungen hin keinerlei Widerstand entgegengesetzt, und dementsprechend ist es als Kugellager ausgeführt.

Beim Anheben und Absenken des Ueberbaues verändert dieser seine Höhenlage gegenüber dem Drehschemel. Die Untergurte der Hauptträger und die Schrägstreben des unteren Längsverbandes des Oberbaues durchdringen nun die beiden Hauptträger des Drehschemels. Die für diese Durchdringung in den Hauptträgern des Drehschemels vorgesehenen Aussparungen mußten so hoch gemacht und derartig angeordnet werden, daß weder bei der tiefsten noch bei der höchsten Lage des Ueberbaues eine Uebertragung von lothrechten Kräften zwischen dem beweglichen Ueberbau und dem Drehschemel an diesen Stellen möglich ist. Andererseits muß der bewegliche Ueberbau während des Anhebens und Absenkens jederzeit seitlich gegen den Drehschemel abgestützt sein. Diese Abstützung wird durch die aus der Abb. 7 Bl. 49 u. 50 ersichtliche Doppel-Parallelogramm-Führung, deren Wirkungsweise aus der Grundsatzskizze Text-Abb. 321 erkannt werden kann, erreicht. Die mittleren Gelenke der beiden zu dieser Führung gehörigen Gelenkstangen-Paare sind durch einen Stab mit einander verbunden, sodafs sich ihre gegenseitige Entfernung von einander nicht ändern kann. Von

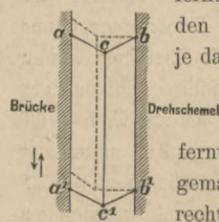


Abb. 321.

den freien Enden der Gelenkstangen-Paare ist je das eine drehbar an dem beweglichen Ueberbau, das andere ebenfalls drehbar an dem Drehschemel befestigt. Die Entfernungen  $aa_1$ ,  $bb_1$  und  $cc_1$  sind genau gleich gemacht, und infolge dessen muß der wagerechte Abstand der Punkte  $a$  und  $b$  einerseits sowie  $a_1$  und  $b_1$  andererseits in den beim Anheben und Absenken des beweglichen Ueberbaues vorkommenden Grenzen jederzeit genau gleich sein, der Ueberbau von dem Drehschemel also lothrecht geführt werden.

Während des Anhebens und Absenkens kippt der bewegliche Ueberbau um den Kugelpfosten auf dem Hebelkolben. Diesem Kippen entsprechend muß sich auch der Dreh-

schemel neigen, er bewegt sich dabei um die Bolzenlager auf seinen Laufwagen. Diese Neigung des Drehschemels wird durch drei Mitnehmer-Vorrichtungen bewirkt, von denen zwei auf die wagerechten Arme der beiden Hauptträger des Drehschemels wirken, die dritte aber an die Versteifung der lothrechten Arme und zwar nahe dem oberen Ende dieser Arme angreift. Bei dem Neigen des Drehschemels müssen sich auch die Laufwagen etwas verschieben; diese Verschiebung, die in der Richtung der Brückenlängsachse erfolgt, ist jedoch so geringfügig, daß sie von den Rädern, die nach einem Kreise angeordnet sind, und den kegelförmig gestalteten Laufflächen der Räder und des Seilkranzes ohne Bedenken ertragen werden kann.

Die gleichzeitige Bewegung des Drehschemels und des Brückenüberbaues während des Ein- und Ausschwenkens des letzteren wird in erster Linie durch die soeben besprochenen Mitnehmer-Vorrichtungen herbeigeführt, dann wirkt auch die Parallelogramm-Führung darauf hin, und schließlich sind die Untergurte der Hauptträger des beweglichen Ueberbaues an den Stellen, wo sie durch die wagerechten Arme der Hauptträger des Drehschemels hindurchgehen, je an einer Seite mit Gleitbacken versehen, mit denen sie sich gegen Gleitstücke legen, die an den Hauptträgern des Drehschemels angebracht sind. Diese Gleitvorrichtungen verhindern jede seitliche Verschiebung zwischen dem Drehschemel und dem Ueberbau, zu der übrigens auch keinerlei Anlaß vorliegt. Solche Verschiebungen können nur als Folge von kleineren Zufälligkeiten auftreten.

Die seitlichen Kräfte, die der Drehschemel aufzunehmen vermag, sind ihrer Größe nach abhängig einmal von dem Gewicht, mit dem der Drehschemel auf seinen Wagen lastet, und ferner von dem Abstand, den diese Wagen von einander haben. Dieser Abstand ließe sich nun nicht beliebig wählen, da sich der Drehschemel auf dem Drehpfeiler bewegen muß und mit keinem seiner Theile über denselben hervorragen darf. Das Gewicht des Drehschemels einschl. des oben erwähnten, die gleichmäßige Belastung der beiden Wagen herbeiführenden Ballastes reicht aber nicht aus, um ihn bei der einmal gegebenen Entfernung der Wagen zu befähigen, auch den größten auf den beweglichen Ueberbau einwirkenden Winddruckkräften den nöthigen Widerstand entgegenzusetzen. Hätte man den Drehschemel diesen größten Kräften entsprechend belastet, dann würde dieses Gewicht bei jeder Drehung der Brücke mit zu bewegen gewesen sein, und dadurch wären die Bewegungswiderstände der Brücke nicht unerheblich vergrößert worden. Diese Erwägung führte dazu, von einer Vermehrung des Drehschemelgewichtes abzusehen. Das vorhandene Gewicht reicht aus, um den beweglichen Ueberbau gegen seitliches Umkippen bei Winddrücken bis zu 72 kg auf das qm lothrechter Fläche zu sichern, für die sehr selten auftretenden stärkeren Winddrucke sind zwei mit dem Drehschemel verbundene Sicherheitshaken vorgesehen, die unter den entsprechend ausgebildeten vorstehenden Rand des oberen Ringes am Tragwerk der Hubvorrichtung greifen und so jedes Umkippen des Drehschemels verhindern. Die Ausbildung dieser Sicherheitshaken, von denen nur immer einer in Wirksamkeit kommt, sowie ihre Verbindung mit den beiden Hauptträgern des Drehschemels ist aus den Abb. 7 bis 9 Bl. 51 zu ersehen.

Wenn die Brücke ausgedreht ist, dann befindet sich der lothrechte Arm des Drehschemels landseitig von dem beweglichen Ueberbau, also in der Lage, in welcher der Drehschemel gegen Beschädigungen durch die die Brückenöffnung durchfahrenden Schiffe am meisten gesichert ist. Auf derselben Seite befindet sich auch das Häuschen für die Steuerungsvorrichtungen, das über dem daselbst liegenden Dreh-

cylinder angeordnet ist und wie dieser von Kreuzträgern unterstützt wird.

Die Verriegelungsvorrichtungen am langen und am kurzen Brückenarm, sowie die Verbindung der Steuerung mit den Canal- und Eisenbahnsignalen sind genau in derselben Weise angeordnet, wie bei den Eisenbahndrehbrücken bei Osterrönnfeld. Der kleine Ueberbau für die nördliche Seitenöffnung der Taterpfahler Brücke ist im engsten Anschluß an die bei der Ausbildung des beweglichen Ueberbaues angewandten Grundsätze entworfen und ausgeführt.

Die Bauausführung begann im Juli 1893; am 4. Februar 1895 wurde die Brücke zunächst als feste Brücke in Betrieb genommen. Die eisernen Ueberbauten und die Bewegungsvorrichtungen waren gleichzeitig mit denjenigen für die Brücken bei Osterrönnfeld und bei Rendsburg im Wege der öffentlichen Verdingung an die Maschinenbauanstalt Haniel und Lueg in Düsseldorf-Grafenberg vergeben worden, und die Ausführung dieser Theile des Brückenbauwerkes erfolgte — abgesehen von geringfügigen Abweichungen, die durch die Belegenheit der Baustelle bedingt wurden, — in der oben bei der Beschreibung der erwähnten Brücke bereits dargestellten Weise. Die Herstellung der Pfeiler und Widerlager wurde durch die Brückenbauanstalt Gustavsborg, Filiale der Maschinenbau-Actiengesellschaft „Nürnberg“ in Nürnberg, bewirkt, sie war derselben freihändig übertragen worden.

#### f. Die Prahmdrehbrücke bei Holtenu.

Bei der Erörterung des Bauentwurfs für den Kaiser Wilhelm-Canal sind in Abtheilung I dieser Denkschrift auf Seite 22 bereits die Gründe angegeben worden, die dazu geführt haben, für die von Kiel nach Friedrichsort führende Landstrasse nicht, wie ursprünglich beabsichtigt war, eine Fähranlage herzustellen, sondern eine schwimmende Brücke zu erbauen; auch ist bereits die allgemeine Anordnung dieser Brücke besprochen und in der Abb. 5 des zugehörigen Blattes 6 u. 7 die Lage der Brücke und die Anordnung der Zufuhrwege dargestellt worden. Danach besteht die eigentliche Ueberbrückung des Canals, der an der Brückenbaustelle in einer Krümmung von 1000 m Halbmesser liegt und deshalb dort um 15 m breiter als in geraden Strecken ist, aus zwei je 39 m langen Prähmen. Diese Prähme heben und senken sich mit dem innerhalb der Grenzen +19,27 und +20,27 schwankenden Wasserstande, und deshalb mußten zwischen die Prähme und die Ufer bewegliche Brücken eingelegt werden, die zur Ueberwindung des jeweiligen Höhenunterschiedes zwischen dem Ufer und der Fahrbahn auf den langen Prähmen, die im folgenden stets Drehprähme genannt werden sollen, dienen. Jede der beiden beweglichen Brücken ist mit dem einen Ende auf einem am Ufer erbauten Widerlager aufgelagert, während das andere Ende auf einem Prahm aufruhrt, dem Tragprahm. Die Prahmdrehbrücke setzt sich demnach aus zwei Widerlagern, zwei Tragprähmen, zwei beweglichen Brücken und zwei Drehprähmen zusammen.

Die Widerlager mußten des ungünstigen Baugrundes wegen auf Pfahlrosten gegründet werden. Sie bestehen im übrigen aus Ziegelmauerwerk mit Klinkerverblendung und Granitabdeckplatten und bieten nichts Bemerkenswerthes. Die beweglichen Brücken sind zwischen den Endquerträgern gemessen 10,4 m lang. Ihre Fahrbahn liegt wagerecht, wenn der Wasserspiegel die Höhe +19,69 hat, und hat in der Richtung auf die Brücke bei dem höchsten Wasserstand von +20,27 eine Steigung von rund 1:18, bei dem tiefsten Wasserstande von +19,27 ein Gefälle von 1:27. Im Grundriss bildet die Fahrbahn der beweglichen Brücken ein Trapez, dessen lange Seite über dem Widerlager liegt. Diese Anordnung war nöthig, weil auf beiden Canalufren

je zwei Wege an die Brücke anschließen, die mit scharfen Krümmungen von der mit der Canalmittellinie gleich oder nahezu gleich laufenden Richtung in die Richtung der Brückenachse übergeführt werden mußten. Wie aus Abb. 5 auf Blatt 6 u. 7 der Abtheilung I dieser Denkschrift zu ersehen ist, treten auf beiden Ufern ziemlich große Höhen dicht an den Canal heran; deshalb mußten die Zuwegungen zur Brücke behufs Ersparnis an Erdarbeiten mit dem Canal gleichlaufend hergestellt werden, und die Brücke selbst mußte um etwa 150 m westlich von der Kreuzung der Kiel-Friedrichsorter Landstraße mit dem alten Schleswig-Holsteinischen Canal angelegt werden.

Die beweglichen Brücken haben je zwei Hauptträger, die in der Richtung der schrägen Seiten des Trapezes liegen und als Blechträger ausgebildet sind. Zwischen die Hauptträger sind dreizehn Querträger eingebaut, die den unteren 10 cm starken, aus eichenen Längsbohlen hergestellten Brückenbelag tragen. Der obere, ebenfalls aus Eichenholz bestehende und quer zur Längsrichtung verlegte Belag ist 4 cm stark. Die Hauptträger ruhen an den Widerlagern auf Tangential-Kipplagern auf, außerdem ist der landseitige Endquerträger in seiner Mitte mit dem Mauerwerk des Widerlagers verankert. Der Mittelpunkt des Ankerauges liegt in gleicher Höhe mit der Mittellinie der Cylinderfläche der Kipplager, sodafs eine gleichmäßige Bewegung im Auflager gesichert ist. Für die geringen Bewegungen der Brücke im wagerechten Sinne, die beim Wechsel des Canalwasserstandes eintreten müssen, weil die Tragprähme in später zu beschreibender Weise senkrecht geführt werden, ist ein genügender Spielraum im Anker gelenk gelassen. Die Auflagerung der beweglichen Brücken auf dem Tragprahm findet mit Hilfe des canalseitigen Endquerträgers statt. Dieser ist entsprechend kräftig ausgebildet und in seinem Untergurt nach einem flachen Kreisbogen gekrümmt. Unter den Untergurt ist ein U-Eisen genietet, dessen Flanschen senkrecht nach unten stehen. Bei vollkommen wagerechter Lage des Tragprahmes liegt der Querträger nur mit seiner Mitte auf einem auf der Tragprahmmitte senkrecht zur Brückenlängsachse verlegten und auf seiner oberen Fläche mit einer eisernen Schiene abgedeckten Eichenholzbalken auf. Bei etwaigen Schwankungen des Tragprahmes wird infolge dieser Anordnung der Endquerträger zwar auferhalb seiner Mitte unterstützt, die Verbände der beweglichen Brücken werden aber durch diese Schwankungen nur in sehr geringem Mafse beansprucht, und die Brücke bleibt stets an drei Stellen aufgelagert. An die Hauptträger der beweglichen Brücken sind Kragträger angeschlossen, die zur Unterstützung der Fußwege dienen. Die 4 cm starken, aus Eichenholz bestehenden Querbohlen der Fußwege reichen über die Obergurte der Hauptträger, auf diesen aufliegend, hinweg und sind durch ein Saumwinkeleisen gegen Beschädigungen gesichert.

Jeder Tragprahm hat nahezu die Hälfte des Eigengewichtes der zugehörigen beweglichen Brücke zu tragen. Außerdem soll seine unter der Einwirkung der Verkehrslast eintretende Eintauchung möglichst klein sein, und endlich darf er auch durch die Wellen, die beim Durchfahren von Schiffen durch die Brückenöffnung oder infolge starker Stürme entstehen, nur in geringem Mafse bewegt werden. Unter Berücksichtigung aller dieser Umstände sind die Tragprähme 12 m lang und in der Brückenmittellinie 8 m breit gemacht worden. Diese Breite ist jedoch nur auf die mittleren 6 m Länge, entsprechend der Breite der Drehprähme, vorhanden, nach beiden Enden zu tritt die canalseitige Wand der Prähme um 0,50 m zurück, um dem Wasser beim Bewegen der Drehprähme das Abfließen zu erleichtern. Die Grundfläche der Tragprähme ist somit 94,5 qm groß, und

die Prähme tauchen erst bei einer Belastung mit 9,45 t um 10 cm tiefer als ihre gewöhnliche Schwimmlage ein. Die Prähme sind durchweg aus Flufseisen mit 6 mm starken Hautblechen hergestellt, und ihr Innenraum ist durch vier wasserdichte Querschotte in fünf von einander getrennte Abtheilungen, die vom Oberdeck aus durch Mannlöcher zugänglich sind, zerlegt. Das Oberdeck ist wasserdicht hergestellt und liegt so hoch, dafs jeder Tragprahm oberhalb der Wasserlinie Raumgehalt von reichlich 40 cbm hat und infolge dessen auch dann noch schwimmfähig bleibt, wenn eine seiner Abtheilungen voll Wasser laufen sollte. In dem unterhalb der beweglichen Brücke gelegenen Theil des Tragprahms hat das Deck nach Land zu die Neigung 1:18 erhalten, damit auch bei dem höchsten Canalwasserstande jede Berührung zwischen dem Tragprahm und der beweglichen Brücke ausgeschlossen ist. In der Mitte der Schmalseiten der beiden Tragprähme ragen je zwei auf dem Oberdeck befestigte und an den Kanten mit Winkeleisen versehene, wagerechte Eichenholzbalken 0,40 m über die Prahmwandung hinaus. Sie greifen zwischen zwei lothrecht stehende Pfähle zweier je aus fünf Pfählen bestehenden Pfahlbündel und verhindern, dafs die Tragprähme ihre planmäßige Lage verlassen.

Wie oben schon mitgetheilt worden ist, liegen die canalseitigen Enden der beweglichen Brücken auf der Mitte der Tragprähme auf. Von diesen Enden bis zu den zugehörigen Drehprähmen, also auf nahezu die halbe Breite der Tragprähme, wird die Brückenfahrbahn von Unterklotzungen unterstützt, die auf dem Deck der Tragprähme aufgebaut sind. Diese Fahrbahntheile haben nach dem Canal zu ein Gefälle von 1:20 erhalten, sodafs die Fahrbahn auf den Drehprähmen eine um rund 20 cm tiefere Lage als auf den Mitten der Tragprähme erhalten konnte. Diese Theile der Brückenfahrbahn sind auch dazu benutzt, den Uebergang von den ohne Quergefälle angeordneten Fahrbahnen auf den beweglichen Brücken zu den mit einer Wölbung versehenen Fahrbahnen auf den Drehprähmen zu vermitteln.

Die Abb. 5 Bl. 52 zeigt einen Querschnitt der Drehprähme. Danach haben diese bei 6 m Breite, gemessen über der Aufsenhaut des Schiffskörpers, eine 4,5 m breite Fahrbahn und zwei seitlich erhöhte Fußwege von je 0,75 m Breite. Die Querschnittsform der Prähme ist so gewählt, dafs die bei der Bewegung der Prähme unter dem Boden durchziehenden Wasserfäden möglichst wenig Widerstand finden und auch treibende Gegenstände, z. B. Eisschollen unter dem Schiffsboden hindurch gelangen können. An den der Canalseite zugekehrten Enden der Prähme ist der sonst im Längsschnitt wagerecht liegende Schiffsboden in die Höhe gezogen, sodafs eine im Wasserspiegel etwa 6 m breite Oeffnung entsteht. Durch diese Oeffnung sollen schwimmende Gegenstände hindurchtreiben können, und außerdem hat das Hochziehen des Prahmbodens den Zweck, die der Bewegung der Prähme beim Ein- und Ausschwenken sich entgegengesetzte Seitenfläche an dem Prahmende, an dem die schnellste Bewegung stattfindet, möglichst zu verringern. Die durchweg 6 mm starke Aufsenhaut ist ebenso wie die Bodenwrangen, die drei Längsträger und die beiden besonders kräftig gewählten Stringergänge aus weichem Flufseisen hergestellt. Ueber die Längsträger sind an die Seitenwände der Prähme angeschlossene L-Eisen, N.-Pr. Nr. 14, gestreckt, die das 8 cm starke, aus Eichenholz wasserdicht hergestellte Deck tragen. Auf diesem Deck liegen, abweichend von der Abb. 5 Bl. 52, in der nur ein Belag dargestellt ist, zwei Beläge. Der untere, 4 cm starke Belag erstreckt sich über die ganze Breite der Prähme, und auf ihm liegen die Lagerhölzer auf, die den Längsbohlenbelag der Fußwege tragen. Der obere,

5 cm starke Belag ist nachträglich angeordnet worden, weil sich herausgestellt hatte, daß der sehr starke Fuhrwerkverkehr einen starken Verschleiß des Belages herbeiführte, und es dringend wünschenswerth erschien, das wasserdichte Deck überall in seiner vollen Stärke zu erhalten. Dieser obere Belag ist auch auf den beweglichen Brücken und den Fahrbahnstrecken auf den Tragprähmen hergestellt worden. Die Seitenwände der Prähme ragen 80 cm über den Wasserspiegel hinaus, sofern die Drehprähme unbelastet sind. Bei dieser Höhenlage kann das Deck nur ganz ausnahmsweise von Wellen überspült werden, und anderseits ist die dem Winde gebotene Fläche noch so klein, daß die beim Ein- und Ausschwenken der Prähme infolge von Winddruckkräften entstehenden Bewegungswiderstände innerhalb mäßiger Grenzen bleiben. Das Innere der Prähme ist durch wasserdichte Querwände in vier Abtheilungen zerlegt, und der Freibord reicht aus, um die Prähme noch schwimmend zu erhalten, wenn eine der Abtheilungen undicht geworden und voll Wasser gelaufen sein sollte. Das Prahm-Innere ist durch Mannlöcher zugänglich gemacht, die unter den Fußwegen angeordnet sind. Sämtliche schwimmenden Theile der Brücke sind so bemessen, daß ihr Auftrieb auch dann noch reichlich genügt, wenn die Brücke in ihrer ganzen Länge und ihrer vollen Breite mit Menschengedränge, das einer Belastung von 400 kg/qm entspricht, besetzt ist. Die Fahrbahnen und die sie unterstützenden Träger sind überdies für eine Belastung durch einen zweiachsigen Wagen von 7,5 t Gewicht berechnet.

Das Öffnen und Schließen der Schwimmbrücke erfolgt derartig, daß jeder der beiden Drehprähme um ein an dem zugehörigen Tragprahm angeordnetes Gelenk gedreht wird. Ist das Öffnen vollendet, so läuft die Längsrichtung beider Prähme mit der Canalmittellinie gleich, und die Lichtweite der Brückenöffnung beträgt  $2(39,00 - 6,00) = 66$  m, oder genau so viel, wie die Breite des Canalwasserspiegels in den geraden Strecken. Dabei liegt der am nördlichen Canalufer befindliche Drehprahm westlich, der am südlichen Ufer befindliche aber östlich von der Brückenmittellinie. Auf dem Kaiser Wilhelm-Canal wird rechts gefahren, in derselben Fahrtrichtung bewegen sich auch die Drehprähme, sie weichen also einem der Brücke sich nähernden Schiffe aus. Die Drehung der Prähme wird durch Ketten und Winden bewirkt, die für jeden Prahm gesondert angeordnet sind, sodafs die beiden Hälften der Brücke vollständig unabhängig von einander bewegt werden können. Zu jedem Prahm gehört eine Kette und eine Winde. Die 23 mm starke, mit Stegen versehene Kette ist an dem — in der Bewegungsrichtung des Drehprahms gerechnet — hinter der Brücke liegenden Ende an einen Pilzanker angeschlossen, der auf der Canalsole derartig verlegt ist, daß die Richtung der Kette während des Schließens der Brücke thunlichst mit der Richtung der zur Bewegung des Prahms auszuübenden Kraft zusammenfällt. Das andere Kettenende ist auf demjenigen Canalufer befestigt, an dem der ausgeschwenkte Prahm liegt. Die Kette ist hier nur mehrfach um einen fest eingerammten Holzblock geschlungen, sodafs sie im Bedarfsfalle jederzeit leicht gelöst werden kann. Der Holzblock hat solche Lage erhalten, daß die Kettenrichtung senkrecht zur Längsachse des Drehprahms steht, wenn dieser vollständig ausgeschwenkt ist. Auf den Drehprähmen liegen die Ketten je in einer Rinne, die in der unteren wasserdichten Beplankung des Decks vorgesehen und mit Eisenschienen ausgefüttert ist. In diese Rinne gelangt die Kette beiderseitig des Prahms durch kreisrunde Löcher, die in der Außenhaut angebracht sind. Die Ränder dieser Löcher sind innen und außen durch aufgenietete gußstählerne Ringwulste gegen Beschädigungen durch die Kette gesichert. An der Außenhaut der Prähme sind außerdem die Lager

von wagerechten und lothrechten Lenkrollen, durch welche die Richtungsänderung der Ketten herbeigeführt wird, angebracht.

Die Winden zur Bewegung der Drehprähme sind auf besonderen kleinen Prähmen aufgestellt, die an die Drehprähme mit je zwei Doppelgelenkbolzen angeschlossen sind, sodafs die Prähme kleinere lothrechte und wagerechte Bewegungen unabhängig von einander machen können. Wird die Winde in solcher Umlaufrichtung getrieben, daß der Drehprahm von dem Maschinenprahm gezogen wird, dann findet die Kraftübertragung zwischen den Prähmen durch die Bolzenverbindung statt; wird der Drehprahm geschoben, so sorgen zwei an dem Maschinenprahm angebrachte kleine Buffer dafür, daß etwaige Stöße beider Prähme genügend abgeschwächt werden. Die Maschinenprähme sind 4,2 m lang, 3 m breit und 1,17 m hoch. Sie sind ebenso wie die Dreh- und Tragprähme aus Flußeisen hergestellt und durch zwei Querschotten in drei von einander getrennte wasserdichte Abtheilungen zerlegt. Auf jedem Maschinenprahm ist im Schutz eines den Prahm vollständig überdachenden, aus Holz hergestellten Häuschens ein Windewerk aufgestellt, das außer den für die Führung der Kette nothwendigen Rollen aus einem Capitainschen Petroleummotor von 8 Pferdestärken, einer Winde, die auch von Hand getrieben werden kann, dem den Motor und die Winde verbindenden Uebersetzungsgetriebe und einem ausrückbaren Reibungs-Wendegetriebe besteht. Die mit Führungsrillen versehene Windentrommel ist so lang gemacht, daß sich die ganze Kette auf ihr aufwickeln könnte, das Vorgelege besteht durchweg aus Stirnrädern. Das Wendegetriebe war nöthig, weil der Motor nur eine Umdrehungsrichtung hat, während die Winde bald rechts, bald links herumgedreht werden muß, je nachdem die Drehprähme ein- oder ausgeschwenkt werden sollen. Besondere Schwierigkeiten erwachsen der Ausbildung der Verbindung zwischen Motor und Winde aus dem Umstande, daß die Motoren ihre volle Kraftleistung erst dann entfalten, wenn sie die planmäßige Umdrehungszahl erreicht haben, während auf die Drehprähme gerade bei Beginn des Ein- und Ausschwenkens eine große Kraft wirken muß, weil dann der verhältnißmäßig großen Masse der Prähme Beschleunigung zu ertheilen ist. Nach mehrfachen mißglückten Versuchen wurde in der Aenderung der Verbindungskupplung das Mittel gefunden, um die Kraftwirkung des Motors auf die Winde allmählich bis zu dem erreichbaren Höchstmaße zu steigern. Der Motor bleibt daher dauernd in Bewegung, und durch nach und nach zunehmendes Anheben einer Lösungsbremse wird ein immer größer werdender Theil der Arbeitsleistung des Motors auf die Winde übertragen, indem gleichzeitig der durch Reibungsarbeit verzehrte Theil immer geringer wird.

Die Maschinenprähme liegen ziemlich genau in der Mitte der Drehprähme, und zwar sind sie auf derjenigen Seite dieser Prähme angebracht, die dem Lande zugekehrt ist, wenn die Brücke geöffnet ist. Die Windewerke sind so bemessen, daß jeder Drehprahm bei einem Winde von 40 kg Druck auf das qm senkrechter Fläche und einer gleichgerichteten Strömung im Canal von 0,50 m Geschwindigkeit in  $2\frac{1}{2}$  Minuten vollständig ein- und ausgeschwenkt werden kann. Durch eine entsprechende Anordnung der Vorgelege ist außerdem erreicht, daß die Brücke bei günstigeren Verhältnissen in  $1\frac{1}{3}$ , bei ganz ungünstigen Verhältnissen in  $7\frac{1}{2}$  Minuten geöffnet und geschlossen werden kann. Die Brücke ist in der Regel geschlossen, sie wird nur für die Durchfahrt der Schiffe geöffnet. Häufig kommt es vor, daß Bewegungen der Brücke nur in längeren Zeiträumen vorzunehmen sind. Fallen solche Zeiten mit günstigen Wind- und Stromverhältnissen und mit mäßigem Landverkehr zu-

sammen, dann werden die Petroleummotoren ganz außer Betrieb gesetzt, und das Bewegen der Brücke findet mit den an dem Windwerk vorgesehenen Handkurbeln statt. Die vier beim Bedienen der Brücke beschäftigten Leute können diese Arbeit leisten, wenn sie sich nicht zu häufig wiederholt; allerdings müssen sie sich dabei anstrengen, und das Bewegen der Brücke kostet mehr Zeit, als wenn der Motor im Betriebe ist.

Beim Ein- und Ausschwenken drehen sich die Drehprähme um ein einfaches Bolzengelenk. Das Bolzenauge ist an dem Tragprahm befestigt, der Bolzen mit einem breiten Blatt an den Drehprahm angeschraubt. Die Abmessungen der Prähme sind so groß, daß die Prähme sich auch bei dem stärksten auf dem Canal auftretenden Wellenschlage kaum bewegen, und deshalb konnte das Gelenk so einfach ausgebildet werden. Selbstverständlich ist zwischen dem Bolzen und seinem Auge einiger Spielraum gelassen und das Gelenk sehr kräftig ausgebildet. Bei dem Betriebe der Brücke zeigte sich, daß die Tragprähme durch den Zug der Drehprähme während des Ein- und Ausschwenkens gedreht wurden. Hieraus ergaben sich für die Rampenbrücken Unzuträglichkeiten, und deshalb wurden nachträglich an den canalseitigen Enden der Tragprähme Rundpfähle eingerammt, gegen die sich die Tragprähme anlegen, wenn die von den in Bewegung befindlichen Drehprähmen auf sie ausgeübten Kräfte auf ihre Drehung hinwirken.

Wenn ein Drehprahm stärker belastet ist als der andere oder als der zugehörige Tragprahm und umgekehrt, dann würde der stärker belastete Prahm mehr eintauchen als der weniger belastete, und daraus würde an dem Uebergang von dem einen Prahm zu dem andern ein Höhenunterschied in der Brückenfahrbahn eintreten, wenn nicht dafür gesorgt wäre, daß jedesmal der stärker belastete Prahm den anderen mit hinabzieht. Hierdurch wird selbstverständlich zugleich das Maß der Einsenkung erheblich vermindert. Diese Vorrichtung war an drei Stellen anzubringen, nämlich dort, wo jeder der beiden Tragprähme mit dem zugehörigen Drehprahm zusammenstößt, und in der Brückenmitte, wo der Uebergang von einem Drehprahm auf den anderen stattfindet. Die Vorrichtung besteht aus vier Winkeleisen, von denen immer

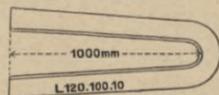


Abb. 322.

zwei an den einen und zwei an den anderen Prahm angeietet sind. Die Text-Abb. 322 zeigt eine Ansicht der beiden an die Tragprähme und an die der Canalmitte zugekehrte Endwand des südlichen Drehprahms angeieteten Winkeleisen. Bei dem südlichen Tragprahm liegt die offene Seite der gebogenen Winkeleisen nach Osten zu, an den übrigen Stellen nach Westen zu. Zwischen die von den Prahmwänden abstehenden Schenkel greifen beim Schließen der Brücke die ebenfalls von den Prahmwänden abstehenden Schenkel ähnlich geformter, je an dem zugehörigen Prahm angebrachter Winkeleisen, die zwischen den abstehenden Schenkeln eine geringere Entfernung haben und deshalb innerhalb der ersterwähnten Winkel Platz finden. Zwischen den Schenkeln ist ein geringer Spielraum vorgesehen; er ist gerade groß genug, um auch bei den unvermeidlichen kleinen Schwankungen der Prähme ein Hineingehen der engeren Schenkel in die weiteren zu gewährleisten, und doch klein genug, um bei ungleichen Belastungen zweier Prähme die Entstehung eines beim Befahren der Brücke störenden Absatzes in der Fahrbahn zu verhüten. Durch die Form der Winkeleisen wird das zwanglose Ineinanderschieben der Winkelschenkel beim Schließen der Brücke noch erleichtert und ebenso beim Öffnen der Brücke die Möglichkeit jedes Klemmens in den Vorrichtungen beseitigt.

Ist die Brücke geschlossen, dann werden die beiden Drehprähme unter sich und jeder Drehprahm mit dem zugehörigen Tragprahm verriegelt, sodafs die Drehprähme auch dann nicht in Bewegung gerathen können, wenn die Windwerke und die Ketten das infolge irgend eines unvorhergesehenen oder beabsichtigten Umstandes zulassen sollten. Die Vorrichtungen bestehen aus besonders kräftig ausgebildeten Ueberfallriegeln, die mit Hülfe eines Gestänges und eines mit Einklinkvorrichtung versehenen Handhebels einzeln ausgehoben oder eingerückt werden können.

Die kleinen Zwischenräume zwischen den Fahrbahnen auf den einzelnen Prähmen, sowie zwischen der Fahrbahn auf den Rampenbrücken und einerseits den Widerlagern, andererseits den auf den Tragprähmen aufgeständerten Fahrbahntheilen werden durch schmale Riffelblechstreifen überdeckt. Die kleinen Bleche sind um Gelenkbänder drehbar, sodafs sie aufgeklappt werden können. Um den Personen- und Fuhrwerkverkehr von der Brücke absperrern zu können, wenn diese aufgedreht werden soll, sind hinter beiden Widerlagern Schlagschranken von der bei Eisenbahnübergängen üblichen Anordnung aufgestellt.

Zur Sicherung der geöffneten Brücke gegen Beschädigungen durch schlecht gesteuerte Schiffe sind an beiden Canalufeln hölzerne Leitwerke vorgesehen, deren canalseitige Flucht etwas vor der Fluchtlinie der ausgeschwenkten Drehprähme vorspringt. Außerdem sind ebenso wie bei den Drehbrücken längs des in der Fahrtrichtung der Schiffe rechts gelegenen Canalufers eine Reihe von Pfahlbündeln hergestellt, die zum Festlegen der Schiffe dienen sollen, wenn die Brücken aus irgend welchen Gründen nicht sofort für die Durchfahrt eines Schiffes geöffnet werden können.

Die Prahmdrehbrücke bei Holtenau hat rund 120 000  $\mathcal{M}$  gekostet. In diesem Betrage sind nur die Kosten des eigentlichen Brückenbauwerks und eines vollständigen Ersatz-Dreh- und Tragprahms enthalten, nicht aber die Beträge, welche für die Herstellung der Zuwegungen zu der Brücke, für das Brückenmeistergewese und für die zum Vertauen der Schiffe dienenden Pfahlbündel aufgewandt worden sind. Die Baukosten der Holtenauer Brücke sind im Vergleich zu denen der Rendsburger Strafsendrehbrücke außerordentlich gering, und ebenso steht es auch mit den Betriebskosten. Dabei entspricht die Prahmdrehbrücke allen Anforderungen, die nach Lage des Verkehrs an sie zu stellen sind, und kann deshalb überall dort zur Nachahmung empfohlen werden, wo die Verhältnisse ähnlich liegen wie in Holtenau, also der Verkehr schweren Fuhrwerks ausgeschlossen oder auf andere Wege geleitet werden kann und der zu überbrückende Wasserlauf nur geringe Wassergeschwindigkeiten aufweist. Auch in dem frostreichen Winter 1896/97 hat sich die Prahmdrehbrücke durchaus bewährt, trotzdem im Canal damals mehrfach Eisgang auftrat. Zweimalige Aufeisungen in der Nähe der Brücke durch Dampfer an jedem Tage genügten, um den Bedienungsmannschaften der Brücke die Aufrechterhaltung des Betriebes zu ermöglichen. Text-Abb. 323 giebt ein Bild der Brücke nach einer photographischen Aufnahme.

Die Lieferung der Prähme, der Rampenbrücken und der Windwerke wurde im Mai 1894 auf dem Wege des öffentlichen Verdinges an die Schiffswerft und Maschinenfabrik von H. Merten in Danzig übertragen. Die anderen, übrigens geringfügigen Arbeiten wurden von kleineren Unternehmern aus Kiel und der Umgegend von Kiel ausgeführt. In Benutzung kam die Brücke Ende November desselben Jahres, die Windwerke erforderten jedoch mehrfache Umänderungen, ehe sie den an sie zu stellenden Anforderungen vollständig entsprachen.

## g. Die Fähren.

Hierzu Abb. 1 bis 4 auf Blatt 52.

Von den Fähren ist bei der Erörterung des Bauentwurfs bereits die Rede gewesen, und zwar ist daselbst die Zahl der Fähren angegeben und erörtert worden, aus welchem Grunde von der Verwendung mit Maschinenkraft getriebener Fährprähme grundsätzlich Abstand genommen worden ist. Eine dieser Fähren, die bei Knoop in der Nähe von Holtenau, ist nur mit einem Boot ausgestattet, alle übrigen verfügen über wenigstens einen zum Ueberfahren von Fuhrwerk eingerichteten Fährprahm. Die Prähme sind jedoch nicht bei allen Fähren gleich groß, sondern sind in zwei verschiedenen Größen beschafft, und zwar haben die größeren Prähme 15 m Länge und 4,9 m größte Breite, die kleineren 10 m Länge und 3,75 m größte Breite. Die kleineren Prähme sind an denjenigen Fähren verwandt, die im Zuge von unbefestigten Wegen liegen und nur von leichtem Fuhrwerk benutzt werden. Bei drei von den mit großen Prähmen ausgestatteten Fähren, nämlich bei Brunsbüttel, bei Burg und bei Nobiskrug, ergab

eisen aufruhende Deck ist aus zwei Eichenholzbelägen gebildet. Der untere 5 cm starke Belag ist kalfatert, die Bohlen liegen in der Längsrichtung des Prahms, der obere Belag ist 3,5 cm stark und in der Querrichtung verlegt. In der Prahmmitte sind drei Einsteigeluken angeordnet, durch die das Prahm-Innere für Untersuchungen und Instandsetzungsarbeiten zugänglich gemacht ist. Das Deck hat sowohl Längs- wie Quergefälle, in der Prahmmitte liegt es mit 9 m Länge 40 cm über dem Wasserspiegel, sofern der Prahm unbelastet ist, an den Enden 30 cm. Zur besseren Entwässerung des Decks sind dicht über dem Deckbelage kreisrunde Oeffnungen in der Schanzverkleidung vorgesehen. Ist ein großer Prahm mit 10,5 t belastet, welches Gewicht einem mit vier Pferden bespannten Lastwagen oder einer Infanterietruppe von 130 Mann nebst voller Ausrüstung ungefähr gleichkommt, dann liegt das Deck an den Prahmenden noch 18 cm über dem Wasserspiegel, und stärker dürfen die Prähme nach der Betriebsvorschrift nicht belastet werden. Diese Eintauchtiefe ist an den Außenwänden der Prähme durch einen kräftigen

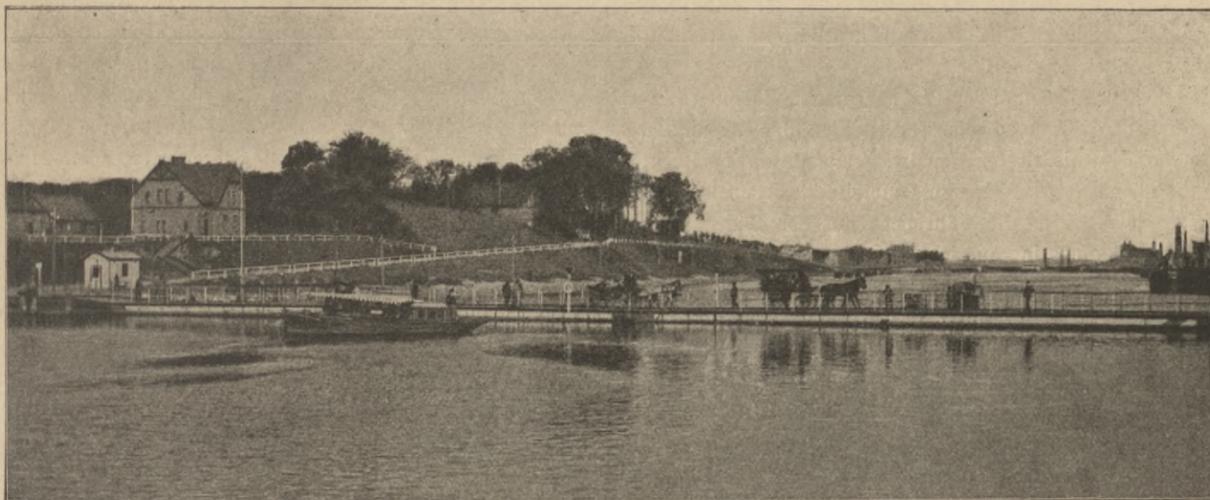


Abb. 323. Prahmdrehbrücke bei Holtenau.

sich der Verkehr nach den während eines längeren Zeitraums angestellten Zählungen als so groß, daß ein Prahm ihn nicht bewältigen konnte. Diese Fähren sind deshalb mit zwei, die Burger Fähre sogar mit drei Prähmen ausgerüstet worden. In Brunsbüttel sind tagsüber beide Prähme ständig im Betrieb, und nur bei Nacht wird der Verkehr mit einem Prahm bewältigt. Bei Burg und bei Nobiskrug ist in der Regel nur ein Prahm im Betrieb, die zweiten Prähme, bezw. in Burg auch der dritte Prahm, kommen nur an denjenigen Tagen in Benutzung und auch dann zumeist nur für wenige Tagesstunden, an denen erfahrungsmäßig ein stärkerer Verkehr zu erwarten ist.

Die kleinen und die großen Fährprähme stimmen in ihrer baulichen Ausbildung und bezüglich der Vorrichtungen zu ihrer Bewegung so vollständig mit einander überein, daß es genügt, im folgenden nur die eine Art derselben zu beschreiben. Wie oben schon gesagt worden ist, sind die größeren Prähme 15 m lang und 4,90 m breit. Das Längenmaß bezieht sich auf das Prahmdeck, umfaßt also die Auffahrtsklappen nicht mit. Die Breite von 4,9 m ist nur in dem 9 m langen mittleren Theil der Prähme vorhanden, an den Prahmenden geht sie auf 4,3 m herab. Der Schiffskörper des Prahms besteht ganz aus weichem Flußeisen, die Bodenbleche sind 6 mm stark, die Bleche der Seitenwände und der Schanzverkleidung 5 mm, die der Stirnwände 7 mm stark. Ueber die Quer- und Längsverbände geben die Abb. 1 bis 3 Blatt 52 hinreichenden Aufschluß. Das auf Winkel-

weisen Strich bezeichnet. Bei den kleinen Prähmen ist die zulässige Belastung entsprechend niedriger festgesetzt worden.

Die Auffahrtsklappen an den beiden Enden der Prähme sind 2,9 m lang, im Anschluß an den Prahm 4 und am anderen Ende 3,5 m breit. Sie bestehen ganz aus Eichenholz und sind durch drei Paar Gelenkbänder, die in das Deck und den Bohlenbelag der Klappe vollständig eingelassen sind, mit dem Prahm verbunden. Die Hebevorrichtung der Klappen besteht aus je zwei Balken, die mit der Klappe fest verbunden sind und auf dem Prahm mittels kleiner Bocklager aufruhend. Die Balken sind nach der Prahmmitte zu soweit verlängert und an dem freien Ende derartig mit Gewichten beschwert, daß die Klappen nur ein geringes Uebergewicht behalten haben und von einem Mann bequem angehoben werden können. An den Enden der Balken sind Ketten mit Haken angebracht, die in einen am Prahmdeck befestigten Angbolzen eingehakt werden und so die Klappen stets in einer gewissen Lage festhalten. Die ganze obere Fläche der Klappe ist mit 5 cm breiten, 5 mm starken Flacheisen, die in der Querrichtung des Prahms verlaufen und 15 cm Abstand von einander haben, belegt, um den Zugthieren der Fuhrwerke beim Betreten der Klappen einen festen Halt zu bieten. An der Vorderseite der Auffahrtsklappen sind noch dreieckförmige Bohlen angeordnet — sie sind in der Abb. 1 Bl. 52 nicht dargestellt —, die das Aufahren der Fuhrwerke auf die Klappen erleichtern sollen. Die Bohlen sind mit drei Paar Gelenkbändern an den Klappen

befestigt und an der zugeschärften Seite auf die ganze Länge mit Eisenblech beschlagen. Die Prähme haben an den Längswänden 60 cm hohe Schanzverkleidungen und darüber noch 30 cm hohe Geländer. Die beiden Enden des Prahms werden durch je zwei auslösbare Ketten von 10 mm Gliedstärke gesperrt. Die obere Kette hängt in Höhe der Geländeroberkante, die untere etwa 25 cm tiefer.

Die Prähme werden an Drahtseilen, die auf beiden Ufern des Canals an eichenen Haltepfählen befestigt sind, durch Menschenkraft bewegt. Die Seile haben 15 mm Durchmesser und sind so lang, daß, wenn die Prähme am Ufer liegen, sie auf der Sohle und den Böschungen des Canals aufliegen. Auf den Prähmen werden sie von zwei Tragrollen und zwischen zwei Paar Leitrollen, die an jeder der beiden Langseiten der Prähme über dem Geländer angebracht sind, unterstützt und geführt. Je nachdem der Prahm während der Ueberfahrt durch Wind und Strömung in der Richtung nach Holtenau oder nach Brunsbüttel abgetrieben wird, werden die Trag- und Führungsrollen an der einen oder anderen Seite des Prahms benutzt, immer so, daß der Prahm sich an der Tangentenseite des Seilbogens befindet. Zur Bedienung des Prahms sind bei gewöhnlichen Witterungsverhältnissen zwei Mann erforderlich.

In die Canalufer sind für die Fährprähme Buchten eingeschnitten, deren Tiefe so bemessen ist, daß der Fährprahm, wenn er bei dem niedrigsten Canalwasserstande in der Bucht liegt, die planmäßige Wasserspiegelbreite des Canals vollständig freiläuft. Für die Fährbucht auf der Südseite ist die für die Zukunft in Aussicht genommene Verbreiterung des Canals um 6 m bereits berücksichtigt, sodafs diese Verbreiterung später durchgeführt werden kann, ohne daß in den Fähranlagen das geringste geändert zu werden braucht. Bei sämtlichen Fähren beträgt die Steigung der Fährrampe unterhalb des höchsten Canalwasserspiegels 1:10 und oberhalb desselben bis zur Höhe +20,77 auf 9 m wagerechter Länge 1:18. Von der Höhe +20,77 steigen die Rampen mit je nach den örtlichen Verhältnissen und der Stärke des zu erwartenden Verkehrs verschieden bemessenen Gefällen an. In Nobiskrug z. B. beträgt die Steigung auf beiden Seiten des Canals auf 30 m Länge 1:100, sodafs hier Halteplätze entstehen, und geht dann in rund 1:30 über. Die unter 1:10 und 1:18 geneigten Theile der Rampen sind bei allen Fähren mit guten Reihenpflastersteinen abgepflastert, und zwar reicht die Pflasterung bis 30 cm unter den an den einzelnen Fähren auftretenden niedrigsten Wasserstand. Oberhalb der Höhenlage +20,77 haben die Pflasterungen verschiedene Ausdehnung. Bei den Fähren, die nur mit einem Prahm ausgerüstet sind, beträgt die Breite der Pflasterung in der Höhe +20,77 überall 6 m und in der Höhe +20,27 überall 7 m. Unterhalb +20,27 verbreitert sich die Pflasterung nach der Formel

$$b = 7,0 \text{ m} + 2 \cdot 0,4 \cdot l,$$

wobei  $l$  die wagerechte Entfernung des betrachteten Querschnittes von dem Querschnitt in der Höhe +20,27 ist. Die Brunsbütteler Fähre, Abb. 4 Bl. 52, ist mit zwei von einander getrennten Fährbuchten versehen, die genau nach den oben gemachten Angaben ausgebildet sind. Für die beiden Prähme bei der Fähre Nobiskrug ist eine gemeinsame, aber etwas verbreiterte Bucht angelegt worden. Die Pflasterung hat in der Höhe +20,77 eine Breite von 7,75 m, in der Höhe +20,27 eine solche von 12 m, und in den tiefer gelegenen Theilen verbreitert sie sich ebenso wie bei den übrigen Fähren. Die oben erwähnten Haltepfähle, an denen die Drahtseile zum Bewegen der Prähme befestigt werden, sind hier derartig angeordnet, daß in jeder Reihe quer zur Längsrichtung der Fähre vier Pfähle im gegenseitigen Ab-

stand von 4 m stehen. Wenn die Pfähle derartig mit Zahlen bezeichnet werden, daß Pfahl 1 Brunsbüttel zunächst steht, dann werden, wenn beide Prähme im Betrieb sind, Pfahl 1 und 3 benutzt, sofern die Prähme durch Wind oder Strömung nach Holtenau zu abgetrieben werden, und Pfahl 2 und 4, wenn die auf die Prähme einwirkenden Seitenkräfte die umgekehrte Richtung haben. Ist nur ein Prahm im Betrieb, so wird je nach den Wind- und Strömungsverhältnissen einer der beiden mittleren Pfähle benutzt. Bei den Fähren mit nur einem Prahm haben die Haltepfähle 7 m Abstand von einander.

Da es zur Herbst- und Winterzeit, besonders bei Glatteis, vorkommen kann, daß Fuhrwerke auf den verhältnismäßig stark geneigten Rampen stecken bleiben, so ist oberhalb jeder Rampe neben dem Fahrweg eine kräftige Winde mit Seil aufgestellt, mit deren Hilfe solche Fuhrwerke hinaufgeschafft werden können. Die Zeit, die zu einer Hin- und Rückfahrt eines Prahms einschließlic des Auf- und Abfahrens der Fuhrwerke nöthig ist, beträgt im Durchschnitt etwa 10 Minuten. Bei flottem Betrieb und günstigen Strömungs- und Windverhältnissen sinkt der Zeitbedarf bis auf 5 Minuten, unter ungünstigen Verhältnissen steigt er aber auch auf 20 Minuten.

Neben jeder Fähre ist ein Wohnhaus für den Fährwärter erbaut, und außerdem ist auf derselben Canalalseite ein dicht neben der Rampe gelegener Aufenthaltsraum für Fährarbeiter vorgesehen. Um den an den Fähren wartenden Menschen Schutz gegen die Unbilden der Witterung zu gewähren, ist auf jedem Canalufer ein kleiner Warteraum angelegt. Zum Herbeirufen der Fährleute ist auf dem Canalufer, das dem Fährwärterwohnhause gegenüber liegt, eine kräftige Glocke aufgestellt, die in ihrer Klangstärke etwa den Bahnsteigglocken auf mittelgroßen Bahnhöfen entspricht. Um die Fährprähme nicht in Bewegung setzen zu müssen, wenn nur einzelne Fußgänger den Canal kreuzen wollen, ist jede Fähre mit einem Ruderboot versehen, das fünf Menschen aufnehmen kann. Für diese Boote sind an beiden Canalufern kleine Anlegstege aus Holz erbaut.

Die Kosten der einzelnen Fähranlagen mußten je nach den örtlichen Verhältnissen und der Bedeutung der Verkehrswege, in deren Zuge sie liegen, sehr verschieden ausfallen. Sie sind theilweise, wie z. B. bei der Fähre bei Landwehr, wo bei der Anlage der Zufuhrwege recht bedeutende Erdarbeiten auszuführen waren, theilweise ziemlich hoch geworden. Ein großer Prahm hat einschließlic allen Zubehörs rund 4500, ein kleiner Prahm rund 3700  $\mathcal{M}$  gekostet. Sämtliche Prähme sind auf Grund eines im öffentlichen Verdingungsverfahren abgegebenen Mindestangebots von der Schiffswerft H. Merten in Danzig geliefert.

#### h. Beleuchtungs-, Signal-, Fernschreib- und Fernsprechanlagen.

Hierzu Abb. 6 bis 8 auf Blatt 52.

Die Beleuchtungsanlage. Unter den zur Leitung und Sicherung des Schifffahrtsbetriebes auf dem Canal erforderlichen Anlagen nimmt die Beleuchtungsanlage sowohl in rein technischer Beziehung als in Ansehung der Herstellungs- und Betriebskosten die erste Stelle ein. Sie umfaßt erstlich die beiden Mündungen mit ihren Hafen- und Schleusenbauwerken, den Maschinenanlagen, Pegelthürmen und Dienstgebäuden und ferner die rund 98 km lange Canalstrecke. Die Beleuchtungsanlagen an den beiden Mündungen mußten, um den eigenartigen Bedürfnissen zu entsprechen, von den bei Städte-, Fabrik- und Bahnhofsbeleuchtungen üblichen Anordnungen abweichend ausgebildet werden, sie stellten aber an den entwerfenden Ingenieur und die ausführende Firma keinerlei Anforderungen, die nicht mit den bekannten und erprobten Mitteln der Elektrotechnik zu er-

füllen gewesen wären. Anders lag es mit der Beleuchtung der Canalstrecke. Hier war eine vollständig neue Aufgabe zu lösen, denn es gab weder ein Vorbild, das für die Festsetzung der Zahl, der Stärke und der Vertheilung der Lichter über die Canalstrecke einen Anhalt bot, noch war bisher eine Beleuchtungsanlage von solcher räumlichen Ausdehnung hergestellt worden.

Von Seecanälen war zu der Zeit, als die Entscheidung über die Beleuchtungsanlage des Kaiser Wilhelm-Canals getroffen werden mußte, allein der Suez-Canal derart in Betrieb, daß die Schifffahrt dort Tag und Nacht durchging. Auf dem Suez-Canal verkehren verhältnißmäßig wenige — in den Jahren 1892 und 93 rund 3560 bzw. 3340 — aber meist sehr große Schiffe, und sehr groß ist auch die durch die Benutzung des Canals zu ersparende Wegestrecke. Deshalb hat die Verwaltung des Canals kein Bedenken getragen, den durchfahrenden Schiffen die Verpflichtung aufzuerlegen, erstlich, daß sie sich das Fahrwasser bei Nacht selbst beleuchten, und ferner, daß von zwei einander begegnenden Schiffen das eine festmacht und so lange liegen bleibt, bis das andere vorbeigefahren ist. Für den Kaiser Wilhelm-Canal liegen die Verhältnisse aber ganz anders. Zunächst ist die durch seine Benutzung zu erzielende Zeit- und Kostenersparnis im Vergleich zum Suez-Canal nur gering, und deshalb mußten alle seine Anlagen so bemessen werden, daß bei seiner Durchfahung jede Zeitversäumnis vermieden wird. Dann mußte damit gerechnet werden, daß die Zahl der Schiffe und damit die Zahl der Schiffskreuzungen erheblich größer ist als beim Suez-Canal, und schließlich war zu berücksichtigen, daß wohl den großen, den Suez-Canal befahrenden Dampfern — Segelschiffe verkehren auf diesem Canal nur ganz ausnahmsweise, häufig in einem ganzen Jahr kein einziges — die Beschaffung der zur Fahrwasserbeleuchtung nothwendigen Dynamomaschinen und Scheinwerfer zugemuthet werden kann, nicht aber den erheblich kleineren Schiffen, die zwischen der Nord- und Ostsee verkehren. Das einzige vorhandene Beispiel konnte sonach für den Kaiser Wilhelm-Canal nicht als Vorbild dienen, es mußten vielmehr ganz neue Wege eingeschlagen werden. Die dieserhalb angestellten Erwägungen führten zu dem Entschluß, von einer Beleuchtung der Wasserfläche ganz abzusehen und nur die Ufer des Canals durch Aufstellung kleinerer Lichter derart zu bezeichnen, daß die Schiffsführer jederzeit die Lage und Richtung der beiderseitigen Ufer genau erkennen können. Die Stärke der Lichter und ihre Entfernung von einander in der Längsrichtung des Canals wurden durch Versuche bestimmt, die im Herbst 1892 in dem tiefen Einschnitt in der Nähe der Levensauer Hochbrücke vorgenommen wurden. Es ergab sich dabei, daß die Lampen bei einer Lichtstärke von 25 Normalkerzen in den geraden und den mit 5000 m und mehr Halbmesser gekrümmten Strecken eine Entfernung von 250 m erhalten konnten, in den schärferen Krümmungen jedoch enger gestellt werden mußten; die Abstände in den Krümmungen von 3000 bis herab zu 1000 m Halbmesser wurden auf ungefähr  $\frac{1}{15}$  des Krümmungshalbmessers festgesetzt, sodafs sie für 3000 m Halbmesser 200 m, für 1000 m rund 65 m betragen.

Die Gesamtzahl der für die Canalbeleuchtung erforderlichen Lichter stellte sich hiernach auf etwa 950. Darunter befinden sich 68, die zur Beleuchtung der Fähren und Drehbrücken dienen. Jede der 26 Fähr Rampen ist mit zwei Lampen versehen, und ebenso sind an jedem der beiden Pfeiler, welche die Durchfahrtsöffnungen der vier Drehbrücken begrenzen, zwei Lampen angebracht.

Was die für die Canalbeleuchtung zu wählende Art der Lichterzeugung anbetrifft, so führten die darüber angestellten

Erwägungen sehr bald zu dem Ergebnifs, daß unter Berücksichtigung aller für diese Frage in Betracht kommenden Verhältnisse — Höhe der Anlage-, Unterhaltungs- und Betriebskosten, Einfachheit und Sicherheit des Betriebes — die elektrische Beleuchtung jeder anderen Beleuchtungsart, die nach dem damaligen Stande der Beleuchtungstechnik in Frage kommen konnte, vorzuziehen sei. Deshalb wurde sowohl für den Canal selbst, als auch für die Schleusen- und Hafenanlagen nebst den zugehörigen Bauwerken an den beiden Mündungen eine elektrische Beleuchtung in Aussicht genommen.

Die gesamte Beleuchtungsanlage wurde Gegenstand einer öffentlichen Ausschreibung. In den den Wettbewerb zu Grunde gelegten Bedingungen war den Bewerbern vollständig freie Hand hinsichtlich der Ausbildung der Beleuchtungsanlagen gelassen worden. Ausbedungen wurde nur, daß die Maschinenanlagen zur Erzeugung des elektrischen Stromes auf der Südseite des Canals errichtet werden mußten und daß die Ueberführung von Leitungen über den Canal nirgends anders als an den beiden Hochbrücken bei Grüenthal und Levensau vorgenommen werden dürfe. Im übrigen wurde verlangt, daß die Anlagen bei thunlichster Sparsamkeit im Betriebe den höchsten erreichbaren Grad von Betriebssicherheit gewähren, insbesondere so eingerichtet sein müßten, daß eine Betriebsstörung niemals das Erlöschen der Lampen auf längeren Strecken zur Folge haben könne. An dem Wettbewerbe beteiligten sich fast alle größeren deutschen elektrotechnischen Firmen. Den Zuschlag erhielt die Actiengesellschaft für elektrisches Licht und Telegraphenbau, Helios in Köln-Ehrenfeld, deren Entwurf sich durch Einfachheit in den Leitungsanlagen für die Canalstrecke auszeichnete und zwei anderen in dieser Beziehung gleichwerthigen Entwürfen in der Betriebssicherheit überlegen erschien. Das Angebot war außerdem, wenn die Anlagekosten und die capitalisirten Betriebskosten zusammengerechnet wurden, etwas billiger als das Angebot des demnächst in Frage kommenden Bewerbers. Auf Grund des von der Actiengesellschaft Helios abgegebenen Angebots wurde der endgültige Entwurf der Beleuchtungsanlage des Kaiser Wilhelm-Canals wie folgt festgestellt. Neben jeder der beiden Maschinenanlagen in Brunsbüttel und Holtenau, in denen das Druckwasser für die Bewegungsvorrichtungen der dortigen Schleusen hergestellt wird, wird eine elektrische Stromerzeugungsanlage erbaut, deren Maschinen von den Kesseln der bestehenden Anlage aus mit Dampf versorgt werden. Von Brunsbüttel aus werden die Schleusen- und Hafenanlagen an der Westmündung des Canals und die Lampen der Canalstrecke bis km 53,3 auf der Nordseite und km 54,1 auf der Südseite mit elektrischem Strom versorgt. Von Holtenau aus werden die übrigen Streckenlampen und die Beleuchtungsanlagen an der Ostmündung des Canals gespeist. Ausgeschlossen von der elektrischen Beleuchtung sind die im Meckelsee und im Audorfer und Schirnauer See liegenden Canalstrecken von km 46,8 bis 47,8 und von km 65,1 bis 70,75, ferner das zurückgelegte nördliche Ufer neben der Werft am Saatsee. Hier sind überall zur Kennzeichnung des Fahrwassers Fettgasbojen ausgelegt.

Die Gebäude, in denen die elektrischen Maschinen aufgestellt sind, stehen, wie für Holtenau aus der Abb. 2 auf Blatt 40 zu ersehen ist, durch kleine Verbindungsbauten mit den Hallen, in denen das Druckwasser für die Bewegungsvorrichtungen der Schleusen erzeugt wird, in Verbindung. In Brunsbüttel und Holtenau sind je zwei Dampfmaschinen von 150 Pferdekräften Nutzleistung aufgestellt, von denen jede mit einer Dynamomaschine von 100000 <sup>k</sup>Watt Leistungsfähigkeit derart gekuppelt ist, daß das

Magnetrad der Dynamomaschine zugleich Schwungrad der Dampfmaschine ist. Die Dampfmaschinen sind als Verbundmaschinen mit hinter einander liegenden Cylindern von 420 und 600 mm lichtem Durchmesser und 1000 mm Kolbenhub gebaut und mit Ventilsteuerung versehen. Die planmäßige Maschinenleistung wird bei 85 Umdrehungen erreicht, wenn die Dampfspannung vor den Ventilen 6 Atmosphären, die Füllung des Hochdruckcylinders  $\frac{1}{5}$  beträgt und mit Condensation gearbeitet wird. Sämtliche Maschinenteile sind so bemessen, daß die Maschinennutzleistung ohne Bedenken auch für dauernden Betrieb auf 200 Pferdestärken gesteigert werden kann. In Brunsbüttel, wo die Schleusen ständig im Betrieb sind und deshalb auch die Druckwassermaschinen und die zugehörigen Luftsaugmaschinen stets in Thätigkeit sein müssen, sind die Dampfmaschinen der elektrischen Anlage an die Condensationsanlagen der Prefspumpmaschinen angeschlossen, während in Holtenau, wo Schleusen verhältnismäßig selten stattfinden, der Anschluß zwar vorgesehen, aber außerdem eine eigene Oberflächencondensation angelegt worden ist, deren Pumpe von der Schwungradwelle aus durch einen Riemen angetrieben wird. Beide Maschinenanlagen sind überdies mit Auspuffleitungen versehen, sodaß sie im Nothfall auch ohne Condensation arbeiten können. Das warme Condensationswasser wird in Holtenau durch besondere, an die Dampfmaschinen angehängte Speisepumpen in die Kessel gefördert, nachdem es vorher von Oel und sonstigen Beimengungen gereinigt worden ist.

Zu jeder Dampfmaschine gehört ein Wechselstromdynamo. Wie oben bereits gesagt worden ist, bildet das Magnetrad der Dynamomaschine zugleich das Schwungrad der Dampfmaschine. Die Magnetradwelle ist zweimal derart gelagert, daß sich das Rad zwischen den beiden Lagern befindet. Außerhalb des einen Lagers greift die Pleuelstange an die auf der Welle festgekeilte Kurbel an, außerhalb des andern Lagers ist die Erregermaschine, eine vierpolige Nebenschlussmaschine mit Scheibenanker und 120 bis 150 Volt Spannung, um das über das Lager hinausragende Achsenende herum aufgebaut. Von der Erregermaschine wird der Strom mit Hilfe von Schleifcontacten, die auf der Welle dicht neben dem Magnetrad angebracht sind, nach den Spulen dieses Rades geleitet. Der Durchmesser des Magnetrades beträgt rund 4,75 m, die Zahl der Magnete 72, sodaß bei 85 Umdrehungen in der Minute, der planmäßigen Umdrehungszahl, 6120 Polwechsel in der Minute eintreten. Das Magnetrad ist in Höhe der Achsenmitte durch eine wagerechte Fuge in zwei gleiche Theile zerlegt, sodaß es nach Lösung der Verbindungsstücke leicht von seiner Welle abgehoben werden kann. Der Radkranz ist ausgedreht; in der Aussparung sind, gleichmäßig über den Umfang des Rades vertheilt, die aus  $\frac{1}{2}$  mm starken Blechen hergestellten 72 Magnete befestigt. Für einen vollkommenen magnetischen Schluß ist Sorge getragen, ebenso durch Anordnung schwerer Schuhe dafür, daß die erregende Wicklung trotz der großen Geschwindigkeit, mit der sich die äußeren Theile des Magnetrades bewegen, sicher gehalten wird. Der Stromgeberkranz ist um den Umfang des Magnetrades herumgelegt und wie dieses in der Ebene der Achse getheilt, sodaß die obere Hälfte nach Lösung der die beiden Hälften verbindenden Schrauben ohne weiteres abgehoben werden kann. Die untere Hälfte befindet sich in einer in dem Grundmauerwerk der Maschine ausgesparten Grube und hängt darin vollständig frei. Sie ist an ihren beiden Enden mit Ansätzen versehen und mit diesen oberhalb des Maschinenhaus-Fußbodens derartig gelagert, daß der ganze Kranz vermittelst einer Gleitbahn soweit zur Seite geschoben werden kann, daß die Ankerkerne und die sie umgebenden Erregerspulen zugänglich werden.

Die Spulen und Ankerkerne sind derartig mit dem Stromgeberkranz verbunden, daß sie behufs Besichtigung oder Auswechslung jede für sich nach Lösung einiger Schrauben seitlich herausgezogen werden können.

Die Dynamomaschinen liefern Wechselstrom von 2000 Volt Spannung an ihren Klemmen. Sie werden durch einen Tesla-Motor geregelt, der in das Magnetfeld der Erregermaschine je nach den Spannungsverhältnissen in dem Hauptstromkreise selbstthätig Widerstand ein- oder ausschaltet. Jede der beiden Maschinen ist allein imstande, die für die Beleuchtung einer Canalhälfte erforderlichen Elektrizitätsmengen zu liefern. Es ist also unter gewöhnlichen Verhältnissen nur eine Maschine im Betrieb, während die andere ruht. Wenn nun an der den Strom liefernden Maschine ein Schaden eintritt, etwa das Warmlaufen eines Lagers oder das Heißwerden einer Spule, der die Ausbetriebsetzung der Maschine nothwendig oder erwünscht macht, dann soll die zweite Maschine als Ersatz eintreten können, ohne daß die Canalbeleuchtung unterbrochen wird. Zu dem Zweck muß die Ersatzmaschine zunächst derartig in Gang gebracht werden, daß sie den gesamten erforderlichen Strom liefern kann, und dann erst darf die erste Maschine still gestellt werden. Bei Wechselstrommaschinen ist dazu ferner nöthig, daß beide Maschinen genau dieselbe Stromphase haben. Um diese Uebereinstimmung in den Phasen herbeiführen zu können, ist für jede Maschine auf der später näher zu erörternden Schaltbühne, und zwar nahe dem Schaltbrett ein aus Asbestschnur mit Nickelindraht-Umklöpfung bestehender Belastungswiderstand aufgestellt, der durch ein Tastenwerk je nach Bedarf in voller Größe oder nur mit einem Theil derselben ein- oder ausgeschaltet werden kann. Ist die Uebereinstimmung der Phasen durch Einschalten von Widerstand in den Stromkreis der einen und durch Ausschalten von Widerstand aus dem Stromkreis der anderen Maschine erreicht, so ist das an zwei Stellen zu erkennen. Es sind nämlich erstens zwei Glühlampen vorgesehen, die von einem Umformer mit Strom versorgt werden, der zwei Hochstromwicklungen, für jede der beiden Maschinen eine, hat. Arbeiten beide Maschinen mit gleicher Phase, dann brennen die Lampen hell; sind die Unterschiede gering, dann leuchten die Lampen schwach; sind die Unterschiede groß, dann glühen die Kohlenfäden der Lampen überhaupt nicht. Zweitens lassen sich die Arbeitsverhältnisse der beiden Maschinen an einem Phasenanzeiger erkennen. Er besteht aus einer beweglichen Scheibe, die sich vor zwei, von je einer der beiden Maschinen gespeisten Magnetpolen befindet. Decken sich die Phasen beider Maschinen, dann steht die Scheibe still; sind die Phasen verschieden, dann dreht sich die Scheibe, und zwar je nach der Maschine, deren Phase voreilt, rechts oder links herum.

Um die in Betrieb zu nehmende Ersatzmaschine mit derselben Arbeitsleistung belasten zu können, die von der auf das Stromnetz arbeitenden Maschine geleistet wird, mußten besondere Einrichtungen getroffen werden. In einem neben der Schaltbühne gelegenen, von ihr ganz abgetrennten und mit ausgiebigen Lüftungsanlagen versehenen Raum sind Widerstände aufgestellt, in denen die von den Maschinen geleistete Arbeit in Wärme umgewandelt werden kann. Für jede Maschine ist ein besonderer, aus sechs mittels Tasten beliebig ein- und auszuschaltenden Theilen bestehender Widerstand vorgesehen. Die Widerstände sind ebenso wie die kleineren am Schaltbrett aufgestellten Vorrichtungen gleicher Art aus Asbestschnur mit Nickelindraht-Umklöpfung hergestellt und sind, wenn alle Theile eingeschaltet sind, imstande, die gesamte Arbeitsleistung beider Maschinen in Wärme umzuwandeln. Sie werden nicht nur gebraucht, wenn

während des Betriebes und ohne Störung der Beleuchtung ein Umwechseln der Maschinen stattfinden soll, sondern auch zu Erprobungen der Maschinen, wenn diese stattfinden sollen, ohne daß die Leitungen der Canalstrecke und der Beleuchtungsanlagen an den Mündungen Strom erhalten.

Der Theil des von den Wechselstrommaschinen gelieferten Stromes, der für die Beleuchtung der Canalstrecke Verwendung findet, wird in dem Maschinenhause in Strom von 7500 Volt Spannung umgewandelt. Das geschieht in zwei Gruppen von je drei hinter einander geschalteten Stromumformern, von denen jede für eine Canalseite dient. Es sind nämlich die Leitungen für die Lampen auf der Nordseite und der Südseite des Canals soweit wie irgend thunlich unabhängig von einander gemacht, und die Trennung der Stromkreise ist zu dem Zweck zwischen der Stromerzeugungsmaschine und den Stromumformern angeordnet. Die sechs Umformer und ein siebenter, der im Bedarfsfalle als Ersatz eingeschaltet werden kann, sind in einem mit erhöhtem Fußboden versehenen Theile des Maschinenhauses — der Schaltbühne —, in dem sich auch die künstlerisch ausgeschmückte Schaltwand mit den Ein- und Ausschaltern, den Umschaltern, den Sicherungs- und Mefsvorrichtungen befindet, in einer Reihe aufgestellt. Der Ersatzumformer steht dabei zwischen den beiden Gruppen, und die Leitungen sind so angeordnet, daß er je nach Bedarf in die eine oder die andere Gruppe eingeschaltet werden kann. Die Ein- und Ausschalter an den Umformern (Text-Abb. 324) werden durch einen kräftigen Hebel bewegt und schalten regelmäßig jede Verbindung zweipolig aus. Die Isolation ist stets dreifach, sie erfolgt einmal durch Porcellan und zweimal durch Hartgummi. Sämtliche Schaltvorrichtungen sind mit 10000 Volt geprüft.

Von den Klemmen des letzten Umformers jeder Gruppe gehen die mit Isolirband umwundenen Leitungen durch eine Oeffnung im Fußboden der Schaltbühne nach dem Keller unter der Bühne herab und in diesem zu einem der beiden Endanschlüsse, die an einer der Kellerwände angebracht sind. In diesen Endanschlüssen gehen die beiden, von jeder Umformergruppe kommenden und zu einer Canalseite gehörigen Leitungsdrähte in ein concentrisches, durch Eisendrahtumwicklung gegen Beschädigungen gesichertes Kabel über. Von den Kabeln führt das zu der südlichen Canalseite gehörige sowohl in Brunsbüttel als auch in Holtenau aus dem Keller unterirdisch heraus zu einer in der Nähe des Maschinengebäudes aufgestellten Ueberführungssäule. Die zu der nördlichen Canalseite gehörigen Kabel kreuzen den Canal mit Hilfe der unter den Schleusen hindurchführenden und bei der Beschreibung der Schleusen erörterten Canäle. In Holtenau wird der Düker am Aufsenhaupt der Schleusen, in Brunsbüttel der am Binnenhaupt benutzt. Bei beiden Schleusen befinden sich die Ueberführungssäulen aber am Binnenhaupt, und dementsprechend ist das Kabel in Holtenau auf dem nördlichen Schleusengelände bis zum Binnenhaupt unterirdisch verlegt. In den Ueberführungssäulen gehen die Kabel in die aus zwei blanken Kupferdrähten von 4 mm Durchmesser bestehenden Luftleitungen über. Die beiden Drähte jeder Leitung werden von kiefern, etwa 40 m von einander entfernten Stangen ge-

tragen. Die Stangen sind längs des eigentlichen Canals sämtlich an der auf der Höhe +21,27 gelegenen Stelle aufgestellt, wo die unter 1:5 geneigte, an die Steinabdeckung der Canalufer anschließende Böschung aufhört und sowohl in den Aufträgen als auch in den Abträgen die Böschung mit 1:1,5 beginnt (Abb. 6 Bl. 52). Sie haben im allgemeinen 7 m Länge, nur dort, wo Verkehrswege von den Leitungen gekreuzt werden, sind sie um 1 m länger. Hier sind unter den Leitungen eiserne Schutznetze angeordnet worden, die verhindern sollen, daß bei einem Reißen der Leitungen die Drähte mit den auf den Wegen verkehrenden Menschen oder Thieren in Berührung kommen. Diese Schutznetze haben die Stangen mit zu tragen. Die Unterstützung der Drähte an den Stangen erfolgt in ähnlicher Weise wie bei den Telegraphenleitungen; die Isolatoren sind jedoch in Rücksicht auf die hohe Spannung des elektrischen Stromes

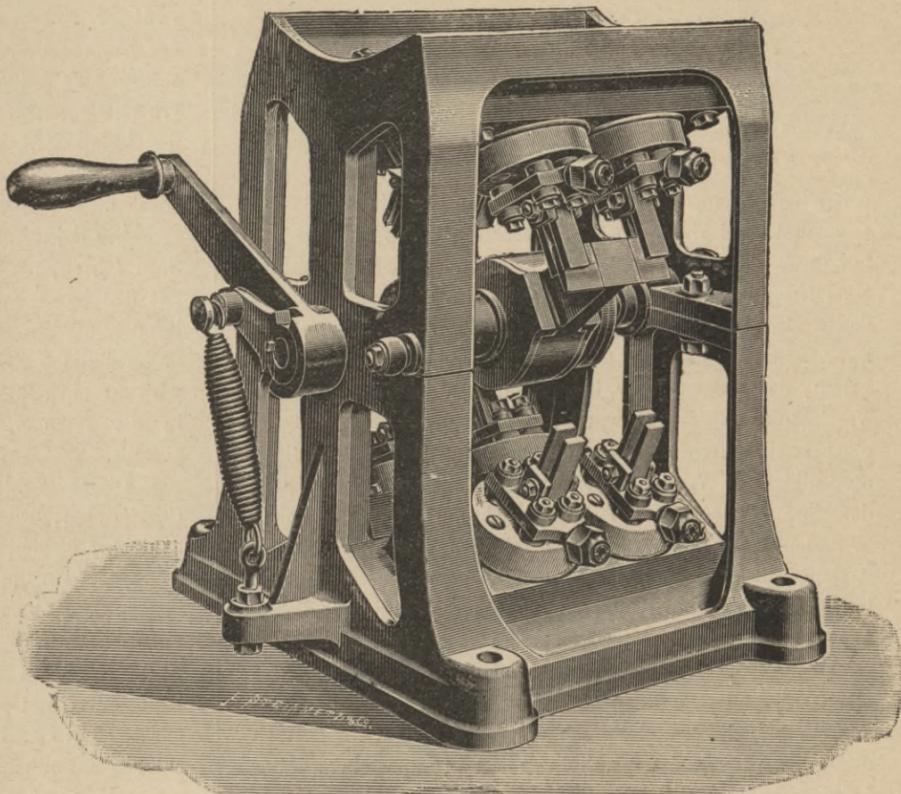


Abb. 324. Ein- und Ausschalter an den Umformern.

als dreifache Hochstromisolatoren ausgebildet und bestehen aus Porcellan. Ueber der Leitung ist noch ein Stacheldraht als Blitzableiter angeordnet. Er ist auf den Stangen mit einfachen Krampen befestigt und an jeder fünften Stange mit dem Erdboden in leitende Verbindung gebracht.

Die von Holtenau ausgehende, zu den Lampen auf der Nordseite des Canals gehörige Leitung ist längs der Ober-eiderseen aus Ersparnisrücksichten auf die Südseite des Canals verlegt und an den Stangen der dortigen Leitung mit angebracht, sodafs dort vier Drähte von jeder Stange getragen werden. Die Kreuzung der Leitung mit dem Canal am Anfang und am Ende dieser Seen ist mit Hilfe von Kabeln erfolgt, die etwa 1 m tief unter der Sohle und den Böschungen des Canals verlegt wurden. Auch an der Verbindungsstelle zwischen dem Canal und dem Flemhuder See bei km 84, unter den beiden Hochbrücken bei Grüenthal und Levensau, sowie an einigen anderen Stellen, an denen schiffbare Wasserläufe mit dem Canal in Verbindung stehen, mußten in die Leitungen längs des Canals auf kürzere Strecken Kabel eingelegt werden. Bei den Hochbrücken geschah es, damit die über die beiden Brücken führenden Reichs-Fernsprech- und Telegraphenleitungen bei einem etwaigen Reißen von Drähten

nicht mit der hochgespannten Leitung der Canalbeleuchtung in Berührung kommen können.

Die Lampen der Streckenbeleuchtung sind mit Hilfe schmiedeeiserner Ausleger an den Leitungsstangen, deren

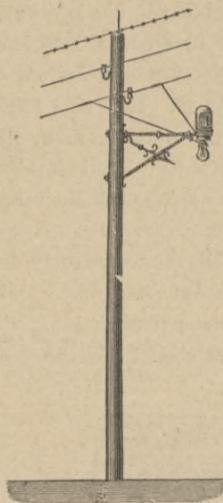


Abb. 325. Leitungsstange mit Lampe.

Stellung den planmäßigen Lampenabständen angepaßt wurde, angebracht. Die Text-Abb. 325 zeigt die gewählte Anordnung. Bei jeder Lampe ist der eine der beiden die Leitung bildenden Kupferdrähte derart unterbrochen, daß das eine Drahtende oberhalb, das andere unterhalb eines an dem zugehörigen Hochstromisolator angebrachten Ueberfalls angeschlossen ist. Die Unterbrechung ist aber durch einen Draht wieder aufgehoben, der vor und hinter dem Isolator mit dem Leitungsdraht verlötet ist. In diesen Umgehungsdraht sind die Lampen eingeschaltet, es sind also die sämtlichen, in einen der vier von Brunsbüttel bzw. Holtenau ausgehenden Leitungskreise eingebauten Lampen hinter einander geschaltet. Bei hinter einander geschalteten Lampen hatte bisher die Schwierigkeit bestanden, daß das Versagen auch nur einer Lampe eine Unterbrechung in dem Stromkreise und damit das Erlöschen aller übrigen Lampen herbeiführte. Es war zwar versucht worden, diesem Uebelstande dadurch abzuhelfen, daß neben jeder Lampe eine selbstthätig wirkende Vorrichtung angeordnet wurde, die die durch das Versagen einer Lampe herbeigeführte Unterbrechung wieder beseitigte, aber alle diese Vorrichtungen waren nicht so betriebssicher, daß ihre Verwendung bei der Beleuchtungsanlage des Kaiser Wilhelm-Canals hätte rathsam erscheinen können. Von der Actiengesellschaft „Helios“ wurde eine ganz neue Anordnung in Vorschlag gebracht, die sich durch das Fehlen jeglichen beweglichen Theiles auszeichnet und somit den höchst erreichbaren Grad der Betriebssicherheit bietet, dafür allerdings einen während des Brennens der Lampen ständig andauernden Verbrauch von elektrischem Strom herbeiführt. Nach dieser Anordnung ist parallel zu der Lampe ein zweiter Leitungsdraht angebracht, der mit einer Anzahl von Windungen um einen Eisenkern herumgeführt. Der

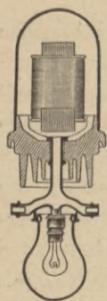


Abb. 326. Lothrechter Schnitt durch die Lampe und den Widerstand.

so zu wählen, daß bei den im gewöhnlichen Beleuchtungsbetriebe vorkommenden Verhältnissen Aenderungen in dem Betriebe der Stromerzeugungsanlage wegen des Verlöschens der Lampen nicht vorgenommen zu werden brauchen. Es müßten mehr als ein Drittel der an einen der vier Leitungskreise angeschlossenen Lampen durch unvorhergesehene Ereignisse zerstört werden, ehe das nöthig wird. Die Text-Abb. 326 zeigt

einen lothrechten Schnitt durch die Lampe, den Eisenkern, die Fassung und den zugehörigen Isolator. Jede Lampe verbraucht 25 Volt Spannung, und in jedem Leitungskreise befinden sich rund 240 Lampen, es sind also nur 6000 Volt Spannung für den Lampenbetrieb erforderlich. Der Rest von den rund 7500 Volt, die in den Canalleitungen dauernd erhalten werden, dient zur Ueberwindung der Widerstände in den langen Leitungen.

Die gesamte Streckenbeleuchtung zeichnet sich durch Einfachheit in der Anlage aus, und hierin ist ihre große Betriebssicherheit begründet. Gerade die Theile der Anlage, die den Unbilden der Witterung am meisten ausgesetzt sind, die Leitungen und die Lampen, sind so einfach wie nur denkbar. Betriebsstörungen an den Leitungen sind deshalb auch kaum vorgekommen, nur die Uebergänge von den Kabeln zu den Luftleitungen haben anfänglich mehrfach zu Betriebsstörungen Veranlassung gegeben. Infolge der hohen Spannung und der großen Leitungslängen traten an den Anschlüssen der blanken Drähte an die Kabel Ladungserscheinungen auf, welche sich bei feuchter Witterung derartig verstärkten, daß erhebliche Erwärmungen und infolge hiervon Zerstörungen der Isolation des Kabels vorkamen. Nach mehrfachen mißglückten Versuchen ist jedoch auch dieser Mangel beseitigt worden.

Die Bojen zur Beleuchtung der Canalstrecken, die durch Seen führen, sind von Julius Pintsch in Berlin geliefert und mit den bewährten Einrichtungen dieser Firma für Fettgasbeleuchtung versehen. Der Inhalt der Bojen ist für eine dreimonatliche Brenndauer berechnet, das benötigte Fettgas wird in einer kleinen, auf der Werft der Canalverwaltung in der Nähe von Rendsburg erbauten Fettgasanstalt hergestellt.

Die Beleuchtungsanlagen an den beiden Mündungen des Canals sind, soweit sie unmittelbar für die Zwecke der Schifffahrt dienen, aus den Abb. 7 u. 8 Bl. 52 zu erkennen. Außerdem sind in den Gebäuden der Centralmaschinenanlage, in den Maschinenkammern und Gängen der Schleusen, im Pegelthurm, in den Dienst- und Wachträumen, in den Lotsenhäusern und in einigen Dienstwohngebäuden zusammen in Brunsbüttel und Holtenau je rund 500 Glühlampen von zumeist 16 N.-K. Lichtstärke und in den Centralmaschinenanlagen außerdem je 6 Bogenlampen von je 800 N.-K. Lichtstärke vorgesehen. Diese Lampen brauchen mit Ausnahme der in den Maschinenkammern der Schleusen, die auch bei Tage erleuchtet werden müssen, angebrachten Lampen nur gleichzeitig mit der Streckenbeleuchtung zu brennen, und deshalb können sie von den Wechselstrommaschinen aus mit Strom versorgt werden. Da diese Maschinen mit 2000 Volt Spannung arbeiten und der hochgespannte Strom seiner Gefährlichkeit wegen nicht in die einzelnen zu beleuchtenden Räume hineingeführt werden durfte, mußte er auf niedrigere Spannung umgeformt werden. Diese Umformung, durchweg auf 125 Volt, ist für die in der Nähe der Centralmaschinenanlage gelegenen Verwendungsstellen und für die Lampen in den Maschinenkammern und Gängen der Schleusen in dem Keller unter der Schaltbühne geschehen, für die übrigen Stromverbrauchsstellen sind an günstig gelegenen Orten, zumeist in Kellern der Gebäude, Umformer aufgestellt, denen der hochgespannte Strom durch Kabel zugeführt wird. Die Kabel sind, soweit die Umformer nördlich von den Schleusen aufgestellt werden mußten, durch die beiden Düker am Außen- und Binnenhaupt der Schleusen hindurchgeführt. Der Düker am Mittelhaupt ist von allen für Beleuchtungszwecke dienenden Kabeln frei gelassen, da er für die Durchführung der Fernsprech- und Fernschreibkabel der Canalverwaltung und der Reichspost- und Telegraphenverwaltung

benutzt worden ist und eine möglichst weite Entfernung zwischen den Starkstromleitungen der Beleuchtungsanlage und den Schwachstromleitungen für den Fernsprech- und Fernschreibbetrieb geboten erschien.

Um die in den Maschinenkammern und den Verbindungsgängen der Schleusen angeordneten Lampen auch bei Tage brennen zu können, müßte man eine der großen Wechselstrommaschinen laufen lassen, und diese würde dann des geringen Kraftbedarfes wegen einen außerordentlich geringen Wirkungsgrad haben. In Holtenau, wo die Schleusen nur sehr selten in Betrieb kommen, wurde das bei der Feststellung des Entwurfs für die Beleuchtungsanlage für zulässig gehalten, für die Brunsbütteler Schleusen mit ihrem ständigen Betrieb jedoch nicht. Dort wurde für den Tagesbetrieb eine kleine elektrische Maschine vorgesehen, die zugleich so eingerichtet ist, daß sie als Ersatz für eine Erregermaschine dienen kann und deshalb Gleichstrom erzeugt. Die Triebkraft wird von einer einzylinderigen Dampfmaschine von 150 mm Cylinderdurchmesser, 350 mm Hub, 150 Umdrehungen in der Minute und, je nach dem Füllungsgrade, 9 bis 12 Nutz-Pferdestärken geliefert. Auf der Achse derselben sitzt der Scheibenanker einer vierpoligen Gleichstrom-Nebenschlussmaschine. Der von der Maschine erzeugte Strom hat 125 Volt Spannung und wird in die nach den Maschinenkammern führenden Kabel hinter dem Umformer geleitet, der den von den großen Wechselstrommaschinen kommenden und für die Lampen in den Maschinenkammern bestimmten Strom von 2000 Volt Spannung auf 125 Volt umformt. An der Verbindungsstelle der Leitungen ist ein Umschalter angeordnet, der so eingerichtet ist, daß die nach der Schleuse führende Leitung entweder mit der Wechselstrom- oder mit der Gleichstrommaschine verbunden ist, nie aber an beide Maschinen gleichzeitig angeschlossen sein kann. Bei Tage ist der Umschalter so gestellt, daß die kleine Maschine die Lampen in den Maschinenkammern mit Strom versorgen kann. Wenn abends die Wechselstrommaschine in Betrieb genommen werden soll, dann wird vorher die kleine Maschine still gesetzt und der oben erwähnte Schalter umgestellt.

In Holtenau hat sich im Laufe des Canalbetriebes herausgestellt, daß es wegen der leichteren und billigeren Unterhaltung der in den Maschinenkammern der Schleusen aufgestellten Theile der Bewegungsvorrichtungen doch vorthellhaft ist, wenn eine kleine Tagesmaschine beschafft wird, und diese Beschaffung ist dort nachträglich erfolgt.

Die der Schifffahrt unmittelbar dienenden Beleuchtungsanlagen an den beiden Mündungen des Canals umfassen die Lichter längs der Aufsenhäfen und die Bezeichnung und gleichzeitige Beleuchtung der Schleusen nebst den zugehörigen Leitwerken. An Hafenufern sind in Brunsbüttel und Holtenau je zwei angelegt, das eine an der rechten Seite der Einfahrt zeigt grünes, das andere an der linken Seite rothes Licht. Sie bestehen aus Fresnelschen Linsen-Apparaten V. Ordnung, mit elektrischen Glühlampen von 36 N.-K. Lichtstärke. In Brunsbüttel sind für diese Feuer auf den Köpfen der beiden

Molen gemauerte Thürme errichtet, in Holtenau ist für das rothe Feuer am äußersten Ende des südlichen Hafenufers ein Eisen-Fachwerkthurm, für das grüne Feuer auf dem nördlichen Ufer ein mit reichem künstlerischen Schmuck ausgestatteter massiver Thurm erbaut. Dieser Thurm, der in der Text-Abb. 327 dargestellt ist, erhebt sich über dem von dem hochseligen Kaiser Wilhelm I. am 3. Juni 1887 verlegten Grundstein. Er ist in seinem unteren Theil zu einer Gedekhalle ausgebildet und trägt an seiner Außenseite eine aus der Text-Abb. 327 nicht ersichtliche Bronzetafel, die von der Eröffnung des Canals mit den Worten Kunde giebt:

Kaiser Wilhelm II.  
vollzog die Weihe des  
Nord-Ostsee-Canals  
und übergab ihn dem Weltverkehr  
am 21. Juni 1895.



Abb. 327. Leuchthurm zu Holtenau.

Die Aufsenhäfen sind durch eine Anzahl längs der Ufer, in Brunsbüttel auch auf den Molen aufgestellter Glühlampen nur so weit beleuchtet, daß der Verlauf der Uferlinien erkannt werden kann, eine wirkliche Beleuchtung haben nur die Schleusen mit den dazu gehörigen Leitwerken erhalten. Die Schleusen werden durch drei Reihen von je 11 Lampen beleuchtet, wobei jede Lampe aus vier Glühlampen von 25 N.-K. besteht. Die mittlere Reihe ist in der Mittellinie der Mittelmauer aufgestellt, die seitlichen Reihen stehen soweit hinter der Vorderkante der Seitenmauern, daß die Mittellinie der nördlichen und der südlichen Schleuse je genau in der Mitte zwischen zwei Lampenreihen liegt. Die Lampenständer auf den Schleusen haben, in der Längsachse der Schleusen gemessen, rund 20 m Abstand von einander, ihr Lichtpunkt liegt 11 m über dem gewöhnlichen Canal-

wasserstande. In der gleichen Höhe liegen die in 50 m Abstand aufgestellten Lichter auf den Leitwerken; nur die grünen und rothen Lichter auf den Leitwerkköpfen sind, damit sie gegen die Reihen der weißen Lampen deutlich hervortreten, um 2 m tiefer gelegt. Die Helligkeit auf den Schleusen sowohl, als auf den Leitwerken hat sich im Betriebe als durchaus ausreichend erwiesen, und die drei langen Reihen von genau gleich hoch liegenden Lichtern lassen die beiden Schleusenöffnungen schon aus größerer Entfernung so scharf erkennen, daß dadurch das nächtliche Einfahren in den Canal in hohem Maße erleichtert wird.

Durch Bogenlampen wäre bei gleichem Verbrauch an elektrischem Strom ein erheblich höherer Grad von Helligkeit zu erreichen gewesen, und deshalb war anfänglich auch die Verwendung von Bogenlampen für die Schleusenbeleuchtung geplant. Die Schwierigkeiten aber, die einmal aus der Nothwendigkeit erwachsen, das Bogenlicht derartig mit Schirmen zu umgeben, daß die Schiffsbesatzungen nicht davon geblendet werden konnten, und die ferner der Aufstellung schwerer Lampenmasten auf den Decken der in den Schleusenmauern ausgesparten Maschinenkammern und Verbindungsgänge entgegenstanden, führten dazu, daß von der Verwendung von Bogenlampen für die Schleusenbeleuchtung ganz Abstand

genommen wurde. — Die Lampen auf den Schleusen und den Leitwerken werden von schmiedeeisernen, mit gußeisernen Verzierungswulsten und Sockeln versehenen Masten getragen. Die Lampen selbst sind mit kugelförmigen Glaskuppeln umgeben. Der benötigte Strom wird Umformern entnommen, die in den Maschinenkammern der Schleusen neben den zu den Dükkern am Binnen- und Aufsenhaupt herabführenden Einsteigeschächten aufgestellt sind und den hochgespannten Strom von den Maschinen her in sorgfältig isolirten und mit Eisenband umhüllten Kabeln erhalten. Die Zuleitungen zu den Lampen auf den Schleusenmauern sind unter den Decken der Maschinenkammern und Gänge entlang und unter jedem Mast durch die Decke hindurch geführt. Soweit die Masten hinter den Mauern auf dem Schleusengelände und auf den Leitwerken stehen, sind die durch das Mauerwerk der Schleusen hindurchgehenden und die außerhalb der Schleusen liegenden Leitungstheile aus concentrischen Kabeln gebildet.

Die Verdingung der Beleuchtungsanlage wurde im Frühjahr 1894 eingeleitet. Im Laufe des Sommers und Herbstes 1894 wurde dann auf Grund der in dem Angebot der Actiengesellschaft Helios enthaltenen Vorschläge der Bauausführung zu Grunde zu legende Entwurf in allen Einzelheiten festgestellt und der Vertrag über die Ausführung abgeschlossen, sodafs im Spätherbst desselben Jahres mit den Arbeiten auf der Canalstrecke und in den Maschinenkammern der Schleusen begonnen werden konnte. Die Aufstellung der Stromerzeugungsmaschinen nebst Zubehör in Brunsbüttel und Holtenau konnte jedoch erst in Angriff genommen werden, als die dafür bestimmten Gebäude hergestellt waren, und mit dem Bau dieser Gebäude konnte erst begonnen werden, nachdem die Ausgestaltung der Maschinen und ihres Grundmauerwerks endgültig feststand. Darüber war der Spätherbst herangekommen. Trotz des sehr ungünstigen Winters, der lange andauernden harten Frost brachte, gelang es, die Arbeiten an den Gebäuden derart zu fördern, daß die Aufstellung der Maschinen nicht hinter den übrigen Arbeiten zurückblieb und die Gesamtanlage am Tage der Canaleröffnung im wesentlichen fertiggestellt und betriebsfähig war. In Holtenau konnte sogar mit der einen Maschine der planmäßige Beleuchtungsbetrieb des Canals und der Schleusen aufrecht erhalten werden, während die zweite Maschine den für die Beleuchtung der Festräume während der Eröffnungsfeier nothwendigen Strom lieferte. Die Beleuchtung dieser Räume umfaßte 165 Bogenlampen und rund 200 Glühlampen.

Die Kosten der Beleuchtungsanlage einschließlichs aller dazu gehörigen Nebenleistungen belaufen sich auf rund 780000 *M.* Davon entfallen auf die beiden Maschinengebäude in Brunsbüttel und Holtenau und das Grundmauerwerk der Maschinen daselbst rund 110000 *M.*

Die Signalanlagen. Es war schwer, die zur Sicherung des Schiffsverkehrs und der Canalbauwerke erforderlichen Signaleinrichtungen im voraus genau und vollständig zu übersehen; erst nach einigen Erfahrungen über die Art und den Umfang des Canalverkehrs liefs sich dafür eine feste Grundlage gewinnen. Deshalb sind wesentliche Theile dieser Anlagen erst nach der Eröffnung des Canals durch die Betriebsverwaltung ausgeführt oder vorvollständig worden.

An den beiden Mündungen des Canals ist neben dem Aufsenhaupt der in der Einfahrtsrichtung rechts gelegenen Schleuse ein 20 m hoher eiserner Gittermast mit drei verstellbaren Flügeln, den Blenden für drei Lampen und mit einer Raa errichtet. Von den Flügeln und den Lampen sind von See aus stets nur zwei zu sehen. Zwei aufwärts gerichtete Flügel bei Tage und zwei rothe Lichter bei Nacht bedeuten, daß die Einfahrt in die Schleuse nicht frei ist, während zwei abwärts geneigte Flügel bzw. zwei grüne Lichter an-

zeigen, daß die Einfahrt gestattet ist. Wenn mehrere Schiffe in den Canal hinein wollen, dann muß noch angegeben werden, welches Schiff die Erlaubnis zur Einfahrt in die Schleusen erhält. Dazu dient die Raa an dem Signalmast. Bei Tage werden an ihr eine oder mehrere Flaggen des internationalen Signalbuches, bei Nacht ein bis drei rothe oder weisse oder rothe und weisse Lichter gehißt, je nach dem an Bord des einzulassenden Schiffes befindlichen Hafenslotsen, dem das betreffende Flaggen- bzw. Nachtsignal zugetheilt ist. Um den Schiffen anzuzeigen, in welche der beiden Schleusen sie einzulaufen haben, erhalten sie noch besondere Anweisung von der Schleusenmittelmauer her, auf der der diensthabende Schleusenmeister seinen Standort und auch seinen Wacht- raum hat. Am Aufsenhaupt und am Binnenhaupt ist auf dieser Mauer je ein hölzerner Mast mit einer Raa aufgestellt. Befindet sich an der Raa bei Tage ein grüner Ball links vom Mast, bei Nacht ein grünes Licht, so ist die in der Fahrtrichtung links belegene Schleuse zur Einfahrt in den Canal zu benutzen; befindet sich ein rother Ball rechts vom Mast oder hängt an der Raa ein rothes Licht, dann geht die Einfahrt durch die rechts gelegene Schleuse. Für Schiffe, die aus dem Canal herausfahren wollen, werden Signale nur an dem Mast am Binnenhaupt gemacht. Die rothen und grünen Bälle und Lichter haben die eben angegebene Bedeutung; befindet sich an der Raa kein Signal, so bedeutet das, daß beide Schleusen besetzt sind und das Schiff im Binnenhafen festzulegen hat. Endlich sind auch die Schleusenthore durch Lichter bezeichnet, die jedoch nicht zu sehen sind, wenn die Thore in ihren Nischen liegen. Vier an den Ecken eines Gevierts von 1,5 m Seitenlänge liegende, zu beiden Seiten der Schlagsäulen über dem höchsten schiffbaren Wasserstande angeordnete rothe Lampen zeigen an, daß die von dem einfahrenden Schiffe zunächst zu durchfahrende Thoröffnung geschlossen ist, vier gleich angeordnete grüne Lichter, daß die Thore am anderen Ende der betreffenden Schleuse geschlossen sind.

Bei jeder der Eisenbahn-Drehbrücken haben die ankommenden Schiffe drei Signale zu beobachten, nämlich ein Vorsignal und ein Warnungssignal, die auf dem südlichen Canalufer errichtet sind, und das Brückensignal. Das Vorsignal befindet sich 600 m vor der Brücke und besteht aus einem 10 m hohen eisernen Gittermast mit zwei Flügeln und Blenden für rothes und grünes Licht. Das Warnungssignal liegt 150 m von der Brücke entfernt. Der 10 m hohe Mast trägt eine um eine wagerechte Achse drehbare geviertförmige rothe Scheibe und zwei Blenden für rothes und grünes Licht. Das Brückensignal ist mit dem beweglichen Ueberbau fest verbunden; es besteht aus einer kreisrunden rothen Scheibe für den Tag und einer Laterne mit rothen und grünen Gläsern für die Nacht und ist über dem Drehpfeiler angeordnet. Ist die Durchfahrt durch die Brücke frei, dann zeigen bei Nacht sämtliche Signale je ein grünes Licht, und bei Tage das Vorsignal zwei nach unten geneigte Arme, das Warnungs- und das Brückensignal die schmalen, der Dicke der Scheiben entsprechenden Flächen. Ist die Durchfahrt durch die Brückenöffnungen gesperrt, dann erscheint bei Nacht an allen drei Signalen ein rothes Licht, am Tage sind die Arme des Vorsignals aufwärts gerichtet, und am Warnungs- sowie am Brückensignal sind die vollen Flächen der geviertförmigen bzw. der runden Scheibe dem anfahrenden Schiffe entgegengerichtet. Wie bereits bei der Beschreibung der Osterröndfelder Brücken mitgetheilt worden ist, stehen die Vorsignale und Warnungssignale an den Eisenbahn-Drehbrücken mit den Steuerungsvorrichtungen der beweglichen Ueberbauten derartig in Verbindung, daß die Signale auf „Halt“ gestellt sein müssen, ehe mit dem Schließen

der Brücke begonnen werden kann, und erst dann auf freie Fahrt gestellt werden können, wenn die ausgeschwenkten Brücken auf ihre Ruhelager abgesenkt sind. Auch zwischen den Eisenbahn- und den Canalsignalen besteht eine solche Abhängigkeit, daß nie beide Signale gleichzeitig auf freie Fahrt gestellt sein können. Wenn ein Schiff das freie Fahrt anzeigende Vorseignal mit seiner Commandobrücke durchfährt und dieses der Bedienungsmannschaft der Brücke durch das vorgeschriebene, sechs Secunden lang andauernde Ertönen seiner Dampfpfeife angezeigt hat, so hat es sich durch das auf „Halt“ stehende Warnungssignal nicht beirren zu lassen, vielmehr seine Fahrt fortzusetzen. Die Brücke wird erst geschlossen, wenn das Schiff durch die Brückenöffnung hindurch gefahren ist.

Die Strafsen-Drehbrücke bei Rendsburg und die Prahm-Drehbrücke bei Holtenau sind im Gegensatz zu den Eisenbahnbrücken in der Regel geschlossen und werden für die Durchfahrt eines Schiffes jedesmal geöffnet. Westlich von beiden Brücken, und zwar 900 m von diesen entfernt, sind auf dem südlichen Canalufer Vorseignalstationen eingerichtet, die Tag und Nacht mit einem Wärter besetzt sind. Von diesen Stationen wird den Brückenwärtern das Herannahen von Schiffen oder Schleppzügen, die von Westen kommen, dadurch gemeldet, daß die Stationswärter die an den Brücken aufgestellten Läutewerke mit Hilfe elektrischer Vorrichtungen und Leitungen zum Ertönen bringen. Für die von Osten kommenden Schiffe wird das gleiche Signal von dem jeweilig dienstthuenden Maschinisten der westlichen Eisenbahn-Drehbrücke bei Osterrönfeld bzw. dem Schleusenmeister in Holtenau gegeben. Sobald die Glocken ertönen, soll mit dem Öffnen der Brücken begonnen werden; hierzu ergeht übrigens von dem betreffenden Schiff durch drei lange, mit der Dampfpfeife oder der Sirene abgegebene Töne noch eine zweite Aufforderung. Wann dieses Signal abgegeben werden muß, bestimmt die Betriebsordnung. Den Stand der Strafsen-Drehbrücke bei Rendsburg erkennen die Schiffe an dem Brückensignal, das genau so ausgebildet ist wie bei den Eisenbahn-Drehbrücken. Die Holtenauer Prahm-Drehbrücke zeigt, wenn sie geschlossen ist, in der Brückenmitte zwei etwa 3 m von einander entfernte und etwa 4 m über dem Wasserspiegel liegende rothe Scheiben, bei Nacht rothe Lichter, während sie überhaupt kein Signal zeigt, wenn sie geöffnet ist. Können die Strafsenbrücken aus irgend einem Grunde für ein herannahendes Schiff nicht geöffnet werden, dann wird das durch Winken mit einer rothen Flagge bzw. in der Nacht einer rothen Laterne angezeigt. Wenn irgend möglich, sollen die Schiffe diese Benachrichtigung bereits an den Vorseignalen erhalten, und diese stehen mit den Brücken in Fernsprechverbindung, sodafs sie von dorthier die nöthigen Weisungen und auch Angaben über die voraussichtliche Dauer der Betriebsstörung erhalten können. Zum Festlegen von Schiffen, die auf das Öffnen der Brücken warten müssen, sind bei allen Drehbrücken an der in der Fahrtrichtung der Schiffe rechts gelegenen Canalseite Pfahlbündel in angemessener Anzahl vorgesehen.

In den Ausweichstellen, die mit Pfahlbündeln zum Festmachen der Schiffe ausgestattet sind, wird von zwei Schiffen, die einander kreuzen sollen, das eine festgelegt und so lange festgehalten, bis das andere vorbeigefahren ist. Wenn ein Schiff oder ein Schleppzug sich einer Ausweichstelle nähert, so muß ihm von dort aus eine Weisung über sein weiteres Verhalten erteilt werden. Das geschieht durch Signale, die an einem mit einer Raa versehenen und in der Mitte der Ausweichstelle vor einem Wärterwohngebäude errichteten Mast gemacht werden. Für die nach Osten fahrenden Schiffe gelten in der Fahrtrichtung links vom Mast befindliche rothe Bälle oder ein rother Ball mit

einer über oder unter ihm hängenden rothen Flagge als Tagessignale. Für die westwärts steuernden Schiffe werden die Tagessignale rechts vom Mast und mit rothen Kegeln bzw. einem rothen Kegel und einer rothen Flagge gegeben. Für die Nacht treten Laternen an die Stelle der Bälle, Kegel und Flaggen. Für die nach Osten fahrenden Schiffe bestehen die Signale aus einem oder zwei Lichtern von rother oder weißer und rother oder grüner Farbe, für die westwärts steuernden Schiffe besteht das Signal, das ihnen das Vorbeifahren an der Ausweichstelle erlaubt oder einem in der Ausweiche liegenden Schiffe die Weiterfahrt gestattet, aus zwei lothrecht über einander hängenden grünen Lichtern, alle übrigen Signale werden mit drei Lampen gebildet. Da die Signalmaste von dem Beginn der Ausweichstellen so weit entfernt sind, daß die an ihnen gegebenen Signale bei Nebel und unsichtigem Wetter von den ankommenden Schiffen nicht rechtzeitig erkannt werden können, sind rund 300 m vor dem Beginn der zu der Ausweichstelle überleitenden Canalverbreiterung noch 10 m hohe eiserne Gittermaste mit zwei Flügeln und zwei Blenden für Laternen aufgestellt. Die daselbst gegebenen Signale werden von dem Wärterwohnhaus aus durch Drahtzüge gestellt. Zwei schräg nach aufwärts gerichtete Flügel bei Tage und ein rothes Licht bei Nacht bedeuten, daß die Schiffe in der Ausweichstelle festmachen müssen, zwei abwärts gerichtete Flügel oder ein grünes Licht bedeuten „Freie Fahrt“.

Die Fernschreib- und Fernsprechanlagen. Schon bei dem Bau des Canals war durch Anlage von Fernsprech- und Fernschreibeinrichtungen dafür gesorgt worden, daß sich die Dienststellen thunlichst schnell mit einander verständigen konnten. Die Bauämter und die Barackeninspektionen waren durch Fernschreibanlagen mit der Canal-Commission verbunden, während die Bauämter mit den Bauabtheilungen und die Barackeninspektionen mit den Baracken ihres Bezirks durch Fernsprecher verkehren konnten. Außerdem bestanden in den Bezirken einzelner Bauämter und Bauabtheilungen noch örtliche Fernsprechnetze. Theils unter Benutzung und Ergänzung der für die Bauausführung hergestellten Anlagen, theils durch Neuanlage ist die jetzt bestehende Fernschreib- und Fernsprecheinrichtung geschaffen worden.

An Fernschreibanlagen sind zwei vorhanden. Die erste verbindet das zur Betriebsleitung eingesetzte Kaiserliche Canalamt in Kiel mit den beiden Hafenämtern in Brunsbüttel und Holtenau. Sie ist an das Telegraphenamts in Kiel und an das Postamt in Brunsbüttel angeschlossen, hat aber sonst keine weiteren Anschlüsse und ermöglicht deshalb die schnellste Beförderung nicht nur aller zwischen den genannten Dienststellen des Canals auszutauschenden, sondern auch der von und nach diesen Dienststellen im Fernverkehr abzugebenden Drahtnachrichten. Die zweite Fernschreibleitung verbindet die Hafenämter Brunsbüttel und Holtenau nochmals unter sich, außerdem aber mit den Wärterwohnhäusern an den Ausweichstellen und mit dem bei km 57,2 gelegenen Lotsenhaus Nübbel. Sie wird für alle wichtigeren Nachrichten und Anordnungen, die sich auf die Regelung des Schiffsverkehrs innerhalb des Canals beziehen und eine schriftliche Uebermittlung erwünscht erscheinen lassen, benutzt. Für die weniger wichtigen Meldungen und Anweisungen dient eine genau ebenso verlaufende und mit denselben Anschlüssen versehene Fernsprechleitung.

Weitere Fernsprechanlagen dienen dem Verkehr zwischen den Canalbauinspectoren und ihren Dienststellen, sowie dem Verkehr dieser Dienststellen unter sich. An eine von Brunsbüttel nach Holtenau führende und mit einer Schleife in das Dienstgebäude des Kaiserlichen Canalamtes in Kiel eingeführte Fernsprechleitung sind außer dem Canalamt, den bei-

den Hafentämtern, der Werft am Saatsee und dem Lotsenhaus bei Nübbel, sämtliche Canalmeister, die Maschinengebäude an den Drehbrücken und am Pumpwerk bei Kudensee, die Leitungsaufseher und diejenigen Fähren angeschlossen, deren Wärter nicht zugleich die Geschäfte eines Ausweichstellenwärters versehen. Aufser dieser Leitung sind noch mehrere örtliche Leitungsnetze vorhanden. So sind an der westlichen Canalermündung unter einander durch Fernsprecher verbunden: das Canalamt, die Dienstwohnungen des dortigen Canalbauinspectors, seines Vertreters, des Hafencapitäns, des Canalmeisters und des Obermaschinenisten, das Haus der Elb-Lotsen, das Haus der Canal-Lotsen, die Schleuse, die Centralmaschinenanlage, das Maschinenhaus der Drehbrücke bei Taterpfahl und die Ausweiche bei km 12,2. In Holtenau besteht ein örtliches Fernsprechnetz von ähnlichem Umfange, und ebenso sind die drei Drehbrücken bei Rendsburg mit ihren Maschinenhäusern, Eisenbahnsignalstationen und Vorsignalen verbunden.

Sämtliche Fernschreib- und Fernsprechanlagen sind von der Deutschen Reichspost- und Telegraphenverwaltung hergestellt worden und mit den besten Einrichtungen versehen.

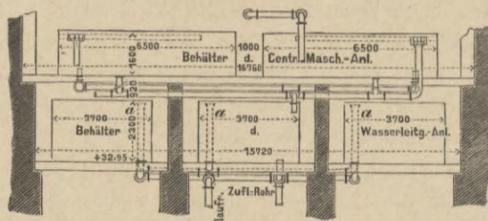


Abb. 328. Längenschnitt.

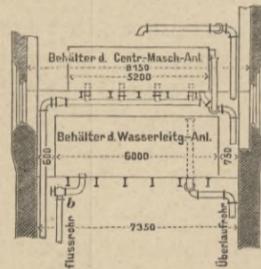


Abb. 329. Querschnitt.

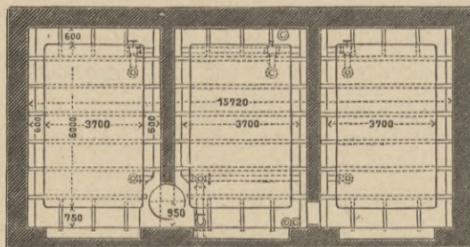


Abb. 330. Grundriss.

Die Schreib- und Sprechwerke sind, wo irgend angängig, in besonderen Diensträumen untergebracht; bei den Hafentämtern von Brunsbüttel und Holtenau werden in Tages- und Nachtdienst besondere Beamte mit der Bedienung der Anlagen beschäftigt, auf dem Kaiserlichen Canalamt endigt der Dienst an den Fernschreib- und Fernsprecheinrichtungen mit den Amtsstunden.

#### i. Nebenanlagen.

Von den Nebenanlagen des Kaiser Wilhelm-Canals, die in den früheren Abschnitten dieser Veröffentlichung noch nicht erörtert worden sind, sollen hier nur einige der wichtigeren beschrieben werden.

##### 1. Die Wasserleitung für Brunsbüttel und das Pumpwerk bei Kudensee.

Hierzu die Abbildungen 1 bis 7 auf Blatt 53.

Die Wasserleitung für Brunsbüttel und das Pumpwerk bei Kudensee hängen insofern mit einander zusammen, als die Anlagen zur Gewinnung, Reinigung und Förderung des an der Elbmündung des Canals zu verbrauchenden Wassers in örtliche Verbindung mit dem bei km 6,70 auf dem nördlichen Canalufer errichteten Entwässerungswerk der Burg-Kudenseer Niederung und mit einem ebendasselbst hergestellten Bewässerungswerk für einige Theile dieser Niederung gebracht worden sind. Dort fand sich nämlich verhältniß-

mäßig gutes Wasser, und zur Ersparung von Bau- und Betriebskosten erschien es zweckmäßig, die Pumpenanlage der Brunsbütteler Wasserleitung mit der bei Kudensee zu erbauenden Maschinenanlage zu verbinden.

Einige Schwierigkeiten machte die Schätzung des in Brunsbüttel zu erwartenden Wasserverbrauchs. Neben dem ständigen Bedarf, der sich aus dem Verbrauch der Centralmaschinenanlage an Kesselspeisewasser, an Wasser für die Dampfheizung in den Maschinenkammern und Gängen der Schleusen und an Ersatzwasser für die Bewegungsvorrichtungen der Schleusen, an dem Verbrauch der Schlepp-, Lotsen- und Bereidungsdampfer der Canalverwaltung sowie dem Verbrauch in den Amtsräumen und den Dienstwohngebäuden ergibt und zu höchstens täglich 150 cbm anzunehmen war, mußte auch der Bedarf der den Canal benutzenden Handels- und Kriegsschiffe berücksichtigt werden. Wie groß dieser letztere sein werde, ließ sich gar nicht übersehen. Um sicher zu sein, daß die Wasserleitungsanlage den an sie herantretenden Anforderungen wenigstens während der nächsten Zeit unter allen Umständen genügen würde, wurde dieser Bedarf zu ebenfalls 150 cbm täglich angenommen, und die Pumpenanlage wie die sonstigen Einrichtungen bei Kudensee wurden so bemessen, daß in acht Stunden 300 cbm Wasser nach Brunsbüttel gefördert werden können. Die Leitung zwischen dem Pumpwerk und dem in Brunsbüttel angelegten Hochbehälter wurde mit 175 mm lichter Weite so stark gewählt, daß später in 10 $\frac{1}{2}$  stündiger Arbeitszeit 600 cbm Wasser ohne unwirtschaftliche Vergrößerung der zu überwindenden Druckhöhe nach Brunsbüttel gefördert werden können.

Um den Pumpenbetrieb bei Kudensee unabhängig von den Schwankungen des Wasserverbrauchs in Brunsbüttel zu machen und auch während des Stillstandes der Pumpe Wasser in dem Leitungsnetz in Brunsbüttel zur Verfügung zu haben, ist daselbst ein Hochbehälter angelegt worden. Der nutzbare Fassungsraum desselben ist zu 150 cbm, also ebenso groß wie der größte durch die Betriebseinrichtungen der Canalverwaltung und durch die Versorgung der Dienstgebäude mit Wasser veranlaßte Tagesverbrauch bestimmt worden. Bei diesem Inhalt wird voraussichtlich selbst dann, wenn ein großer Handelsdampfer oder ein Kriegsschiff 150 cbm Wasser für eine lange Fahrt nehmen sollte, was schwerlich jemals eintreten wird, in Brunsbüttel immer noch kein Wassermangel eintreten, da das Einnehmen solcher Wassermengen so viel Zeit in Anspruch nimmt, daß die Pumpe in Kudensee selbst bei Nacht vor vollständiger Entleerung des Hochbehälters in Betrieb gesetzt werden und die Erschöpfung des Wasservorraths in Brunsbüttel verhüten kann. Bei Tage ist die Pumpe ohnehin jederzeit betriebsbereit.

Der Hochbehälter ist in dem Accumulatorenthurm der Centralmaschinenanlage untergebracht. Er ist aus drei von einander getrennten, aus Eisenblech hergestellten Bottichen zusammengesetzt und liegt über den Accumulatoren, aber unter den beiden Wasserbehältern der Centralmaschinenanlage. Die Text-Abb. 328 bis 330 zeigen die gegenseitige Lage der Behälter, auch sind daraus die Zu- und Abflusleitungen, die Ueberlaufrohre und die an diese angeschlossenen Entleerungsrohre zu erkennen. In die zu den einzelnen Behältern führenden Zweigrohre der Zu- und Abflusleitung sind Absperrventile eingebaut, sodafs jeder Behälter für sich von der Leitung abgetrennt und gereinigt oder ausgebessert werden kann. Vor dem Anschluß der einzelnen Entleerungs-

rohre an die Ueberlaufrohre mußten selbstverständlich ebenfalls Absperrventile angeordnet werden, die nur geöffnet werden, wenn das Wasser aus dem zugehörigen Behälter abgelassen werden soll. Die Breiten- und Längen-Abmessungen der Behälter sind so gewählt, daß zwischen ihren Wänden und den Wänden des Accumulatorenthurmes noch genügend breite Gänge geblieben sind.

Der niedrigste Wasserstand in dem Hochbehälter liegt auf + 33,0. Bei dieser Höhe steht in dem Vertheilungsnetz der Wasserleitung überall eine reichliche Druckhöhe zur Verfügung. In den Leitungsröhren, die hinter den Ufermauern des Binnen- und Außenhafens und auf dem Schleusengelände liegen, ist durch reichliche Anordnung von Hydranten und Brunnenpfosten Sorge dafür getragen, daß der Wasserbedarf der Schiffe überall leicht gedeckt werden kann.

Die Leitung vom Pumpwerk bei Kudensee nach Brunsbüttel ist auf dem nördlichen Canalufer entlang geführt. Der Uebergang nach den Behältern in dem Accumulatorenthurm der Centralmaschinenanlage erfolgt in dem unter dem Binnenhaupt der Schleuse liegenden Düker und dann weiter in dem Verbindungsanal zwischen der Schleuse und der Centralmaschinenanlage. Die Leitung ist in dem weitaus größten Theil ihrer Länge aus gußeisernen Muffenrohren hergestellt, in dem Verbindungsanal und innerhalb der Gebäude der Centralmaschinenanlage sind jedoch Flanschrohre und in dem Düker gußeiserne Rohre mit der der Maschinenbauanstalt von C. Hoppe in Berlin unter Nr. 52 877 im deutschen Reich patentirten und für die Rohrleitungen der Bewegungsvorrichtungen der Schleusen benutzten Flanschdichtung verwandt worden. In die lange Leitung sind an geeigneten Stellen Entlüftungsventile, Schlammabflusshähne und Absperrschieber eingebaut. Kurz vor der ersten Abzweigung in Brunsbüttel ist in die Leitung ein selbstthätig wirkendes Rückschlagventil eingelegt, das die Behälter im Accumulatorenthurm gegen Leerlaufen bei Rohrbrüchen in dem Leitungstheil zwischen dem Ventil und dem Pumpwerk sichert und die Betriebssicherheit der Gesamtanlage in hohem Maße vermehrt.

Die Text-Abb. 331 zeigt einen Grundriss der Gesamtanlage des Pumpwerkes bei Kudensee. Danach gehören zu der Anlage ein Maschinenhaus, in dem sämtliche Pumpen

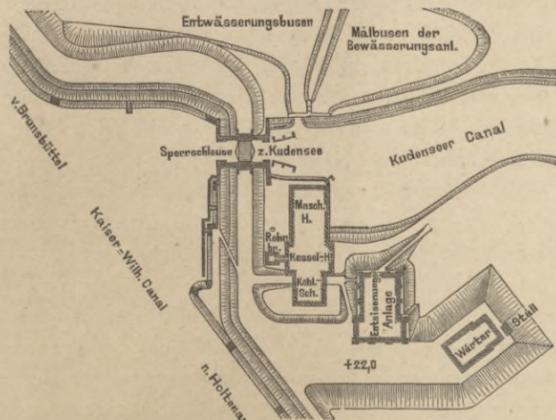


Abb. 331. Lageplan des Pumpwerkes bei Kudensee.

nebst den sie treibenden Dampfmaschinen aufgestellt sind, ein Kesselhaus mit angebautem Kohlschuppen und gemauertem Schornstein, ein Gebäude für die Reinigung des nach Brunsbüttel zu pumpenden Wassers von schädlichen Beimengungen und ein Wärterwohngebäude. Zwischen dem Maschinenhaus und dem Kaiser Wilhelm-Canal ist der Rohrbrunnen angelegt, aus dem das Wasser für die Wasserleitung entnommen wird. Dieser Brunnen, dessen Oberkante auf der Höhe + 19,50 liegt, ist rund 31 m tief und reicht mehrere

Meter in die das Grundwasser führende, aus grobem Sand bestehende Schicht hinein. Der Wasserspiegel würde in ihm, wenn nicht gepumpt wird, annähernd in der Höhe des oberen Randes liegen; durch ein 20 cm tiefer angebrachtes Ablaufrohr ist jedoch dafür Sorge getragen, daß das Wasser in ihm nie zur Ruhe kommen kann. Entnimmt die Pumpe 30 cbm stündlich aus dem Brunnen, dann sinkt der Wasserspiegel bis zur Höhe + 18,0, also um rund 1,50 m. Der Rohrbrunnen ist aus 600 mm im Lichten weiten schmiedeeisernen, innen und außen asphaltirten Rohren von 6 mm Wandstärke hergestellt, der unterste Theil besteht aus einem 5 m langen Filter, das aus 4 mm starken geschlitzten Kupferblechen angefertigt, mit kupfernen Längsstäben versteift und mit verzinneten Kupferdraht-Geweben in doppelter Lage überzogen ist. Die Ausführung des Brunnens erfolgte derart, daß zunächst ein 1 m im Lichten weites Futterrohr hinabgetrieben und der von diesem eingeschlossene Boden herausgebagert wurde. Darauf wurde das endgültige Brunnenrohr mit dem an ihm befestigten, mit einer dichten Sohlplatte versehenen Filter eingesetzt. Der Zwischenraum zwischen Futterrohr und Filter wurde sorgfältig mit Kies umfüllt, darauf das Futterrohr herausgezogen und der dann um das Brunnenrohr freigebiebene Raum mit Boden verfüllt. Das Brunnenrohr endigt oben in einer gemauerten Brunnenstube von 1,50 m im Geviert, die auf einem Schwellrost aufgebaut und zur Fernhaltung von Wärmeschwankungen mit einer doppelten, eine Luftschicht einschließenden Abdeckung versehen ist.

In das Brunnenrohr ragen zwei Saugeleitungen von je 175 mm lichter Weite bis 6 m unter die Oberkante des Rohres hinein. Von diesen Leitungen wird gewöhnlich nur eine benutzt, die andere ist für die später zu erörternden Ausnahmefälle angeordnet worden. Das durch den Brunnen gewonnene Wasser entspricht sonst allen Anforderungen, die an gutes Trink- und Gebrauchswasser, insbesondere auch an Kesselspeisewasser gestellt werden. Es hatte jedoch wie die meisten Grundwasser, die sich in dem Diluvium der norddeutschen Tiefebene vorfinden, eine geringe Beimischung von Eisenoxydul, und dadurch wurde es nicht nur als Trinkwasser unschmackhaft und zum Reinigen der Wäsche ungeeignet, sondern auch bei den Bewegungsvorrichtungen der Brunsbütteler Schleuse stellten sich allerlei Unzuträglichkeiten heraus, sodafs nachträglich eine Enteisungsanlage gebaut werden mußte.

Die Enteisungsanlage ist in den Abb. 5 bis 7 Bl. 53 in einem Grundriss, einem Querschnitt und einem Längenschnitt dargestellt; sie besteht aus zwei Rieselern, zwei Filtern und einem Reinwasserbehälter, die in einem gemeinschaftlichen Gebäude untergebracht sind. Die Rieseler dienen dazu, das Wasser mit der Luft in solchem Maße in Berührung zu bringen, daß das in ihm gelöste Eisenoxydul durch den Sauerstoff der Luft in unlösliches Eisenoxyd umgewandelt wird. Ein Theil des Eisenoxyds setzt sich bereits in den Rieselern ab, der Rest wird von den Filtern zurückgehalten, und das dem Reinwasserbehälter zufließende Wasser ist dann soweit frei von Eisenoxydul, daß die geringe noch verbliebene Beimischung unschädlich ist. Die beiden Rieseler, zwischen denen noch Raum für die Aufstellung eines dritten vorhanden ist, sind cylindrische Behälter, deren Mantel in der Höhe dreimal umlaufend durchbrochen ist, um der Luft Eintritt in das Behälter-Innere zu gewähren. Oberhalb der Durchbrechungen sind siebartige Böden in die Behälter eingebaut, und auf diesen Böden liegt zerkleinerter Koks bis annähernd zur Unterkante der Durchbrechungen in der Behälter-Außenwand. Der unterste Theil der Rieseler bildet je eine Wasserkammer *g*, die das gerieselte Wasser aufnimmt

und von zwei I Eisen getragen wird. Oben auf die Rieseler ist je eine Vorrichtung aufgesetzt, die zur gleichmäßigen Vertheilung des den Rieselern zugeführten Rohwassers auf die Koksfüllungen dient. Die Vorrichtung besteht aus zwei niedrigen, concentrisch angeordneten runden Gefäßen mit gemeinsamem Boden. Innerhalb des kleinen Gefäßes ist der Boden dicht, während der außerhalb des kleinen Gefäßes verbleibende Theil des Bodens mit ganz gleichmäßig vertheilten, nach dem äußeren Rande an Größe zunehmenden Löchern versehen ist. Dieser Theil des Gefäßes ist durch fünf radial verlaufende Querwände in sechs gleiche Theile zerlegt. Dem inneren kleinen Gefäß wird das Rohwasser aus einem oberhalb der Rieseler angeordneten schmiedeeisernen Behälter, in dem es durch eine der beiden vorhandenen Dampfmaschinen gefördert wird, durch eine Rohrleitung zugeführt. In der lothrechten ringförmigen Wand des kleinen Gefäßes ist für jede der sechs Abtheilungen des großen Gefäßes eine Oeffnung vorgesehen, und da diese Oeffnungen genau gleich groß sind und mit ihrer Unterkante in genau derselben Höhe liegen, so erhält auch jede der sechs Abtheilungen dieselbe Wassermenge, die dann durch die Löcher im Boden auf die Koksfüllung des Rieselers läuft. Die Löcher nehmen nach dem Umfange des großen Gefäßes an Durchmesser zu, und diese Zunahme ist so gewählt, daß durch sämtliche Löcher dieselbe Wassermenge abfließt, also auch die Vertheilung des Wassers über die Oberfläche der Koksfüllung des Rieselers ganz gleichmäßig ausfällt.

Die Rieseler müssen von dem Eisenoxyd, das sich in ihnen absetzt, dann und wann gereinigt werden, und in längeren Zeitabschnitten ist auch ein Ersatz der Koksfüllung durch neue Koksstücke nöthig. Die häufiger vorzunehmende Wegspülung des an dem Koks haftenden Eisenoxyds geschieht dadurch, daß das dem Rieseler zugeführte Rohwasser nicht gleichmäßig über die Koksfläche vertheilt, sondern in eine einzige der sechs Abtheilungen der Vertheilungsvorrichtung geleitet wird, und deshalb einen Theil der Koksfüllung mit erheblicher größerer Geschwindigkeit durchfließt. Ist dieses Verfahren mit allen sechs Abtheilungen durchgeführt worden, dann ist der Rieseler gereinigt. Das dabei in die Wasserkammer *g* des Rieselers gelangende verunreinigte Wasser wird durch eine Rohrleitung abgeführt, während die zur Verbindung der Wasserkammern mit den Filtern dienenden Leitungen geschlossen gehalten werden.

In den Filtern soll das von den Rieselern kommende Wasser von den in ihm schwimmenden Eisenoxydflocken und etwaigen Verunreinigungen, die es bei der bisherigen Behandlung erfahren haben sollte, befreit werden. Es sind zwei einander vollständig gleiche Filter mit einer 80 cm starken Unterlage aus Grand und Kies und einer ebenso starken, das eigentliche Filter bildenden Sandschicht vorgesehen. Ueber dem Sande steht das Wasser 0,80 m hoch, die Filtergeschwindigkeit beträgt bei der größten Pumpenleistung etwa 0,60 m in der Stunde, während die Wassergeschwindigkeit im Rieseler etwa fünfmal so groß ist. Die Sammelcanäle der Filter sind aus hartgebrannten Ziegelsteinen hergestellt, sie sind mit Schlitz versehen und führen das gefilterte Wasser je einem Rohr *l* zu, über dessen oberen Rand es in den 35 cbm Wasser fassenden Reinwasserbehälter ausfließt. Die Filter sind mit Ueberlauf- und Entleerungsleitungen versehen.

Aus dem Reinwasserbrunnen entnimmt die zweite, zur Wasserleitungsanlage gehörige Dampfmaschine das Wasser und fördert es nach Brunsbüttel. Um die ganze Anlage von Betriebsstörungen des Enteisungswerkes vollständig unabhängig zu machen, hat diese zweite Pumpe noch eine weitere Saugeleitung erhalten, und das ist die bei der Beschreibung des

Rohrbrunnens bereits erwähnte Leitung. Vermittelt dieser kann die Pumpe auch Wasser aus dem Brunnen entnehmen und es ungereinigt in den Hochbehälter im Accumulatorenthurm bei Brunsbüttel heben. Das Absperrventil in der nach dem Reinwasserbrunnen führenden Saugeleitung wird dann geschlossen und das gewöhnlich geschlossen gehaltene Ventil in der Leitung zum Rohrbrunnen geöffnet.

Von den beiden Pumpmaschinen ist diejenige, die das Wasser aus dem Rohrbrunnen in den über den Rieselern angeordneten Behälter hebt, bereits im Frühjahr 1893 für eine vorläufige Versorgung von Brunsbüttel mit Wasser beschafft worden. Sie besteht aus einer einseitigen Dampfmaschine von 220 mm Kolbendurchmesser und einer auf der gemeinschaftlichen Grundplatte angeordneten doppelt wirkenden Pumpe von 160 mm Cylinderdurchmesser. Der Hub der Dampfmaschine und der Pumpe beträgt 300 mm, die Leistung bei 70 Umdrehungen 625 Liter in der Minute. Die Druckleitung der Pumpe führt nicht nur nach dem Behälter über den Rieselern, sondern sie ist auch an die Leitung nach Brunsbüttel angeschlossen, sodaß auch diese Pumpe Wasser aus dem Rohrbrunnen unter Umgehung der Enteisungsanlage in den Brunsbütteler Hochbehälter senden kann.

Die zweite Pumpmaschine besteht aus einer Verbunddampfmaschine von 240 und 360 mm Cylinderdurchmesser, die zwei auf der gemeinschaftlichen Grundplatte aufgestellte Tauchkolben-Pumpen von 180 mm Kolbendurchmesser antreibt. Der Kolbenhub der Dampfmaschine und der Pumpen beträgt 320 mm, bei 45 Umdrehungen fördern die beiden Pumpen in der Minute zusammen 625 Liter Wasser aus dem Reinwasserbehälter der Enteisungsanlage in den Hochbehälter bei Brunsbüttel, sie sind also imstande den dortigen höchsten Tagesverbrauch in acht Stunden aufzupumpen.

Wie früher bereits angegeben worden ist, sind die Leitungen zwischen dem Pumpwerk bei Kudensee und Brunsbüttel so bemessen, daß im Bedarfsfall 600 cbm Wasser, also doppelt so viel als zunächst beabsichtigt, nach Brunsbüttel gefördert werden können. Tritt die Nothwendigkeit hierfür ein, dann müssen die beiden Pumpmaschinen durch größere ersetzt werden, und das ist ohne Erweiterung des Maschinenhauses möglich, dessen Abmessungen gleich für diesen Fall berechnet worden sind. Im Kesselhause sind Aenderungen nicht nöthig, dagegen müßte ein dritter Rieseler, für den der nöthige Raum zwischen den beiden vorhandenen zur Verfügung steht, aufgestellt werden, und die Filter und die Reinwasserbehälter könnten durch eine der vorhandenen vollständig gleiche, auf der zur Zeit noch freien Seite des Rieselergebäudes herzustellende Anlage verdoppelt werden.

Das bei km 6,70 errichtete Entwässerungswerk hat den Zweck, die Entwässerung der Burg-Kudenseer Niederung, die den Kaiser Wilhelm-Canal als Vorfluth benutzt, auch für den Fall sicher zu stellen, daß die Schleusen in Brunsbüttel aus irgend welchem Grunde bei Ebbe nicht offen gehalten werden können, und deshalb auch im Canal nicht diejenigen niedrigen Wasserstände eintreten, die plangemäß zweimal am Tage eintreten sollen und für Entwässerung der Niederung nothwendig sind. In solchem Falle sollen die Pumpen imstande sein, das ganze der Niederung zugeführte Wasser bei allen Wasserständen des Canals in diesen überzupumpen.

Das Gebiet der Niederung hat einschließlic der dahin entwässernden Geestländereien eine Größe von 7500 ha, wobei 27 ha auf die niedrig gelegenen Flächen entfallen. Bei der Annahme der von jedem Hektar in der Secunde abzuführenden Wassermenge wurden die bei Schneeschmelze eintretenden Winter- und Frühjahrs-Hochwasser, sowie die ganz außergewöhnlichen Sommerhochwasser nicht berück-

sichtigt und die Wassermenge zu 0,5 Liter für das Hektar und die Secunde festgesetzt. Das ergibt bei 7500 ha eine Pumpenleistung von 3,75 cbm in der Secunde. Der Wasserstand in dem in der Nähe des Pumpwerks gelegenen und den Sammler des Entwässerungsgebietes bildenden Kudensee, der, wie die Abb. 1 auf Blatt 6 u. 7 der Abtheilung I dieser Denkschrift zeigt, mit dem Kaiser Wilhelm-Canal durch den mit einer Sperrschleuse versehenen Bütteler Canal verbunden ist, soll nach den Verhandlungen mit den Entwässerungs-Verbänden auf der Höhe + 19,00 gehalten werden, und daraus ergibt sich unter Berücksichtigung des Gefälles zwischen dem Kudensee und dem dicht vor der Sperrschleuse errichteten Pumpwerk ein an dem letzteren zu haltender Binnenwasserstand von + 18,92. Im Kaiser Wilhelm-Canal liegt der niedrigste Hochwasserstand auf der Höhe + 19,27, der höchste auf + 20,27 und der mittlere demnach auf + 19,77. Hieraus ergeben sich folgende Förderhöhen:

mittlere Förderhöhe + 19,77 — 18,92 = 0,85 m,

größte Förderhöhe + 20,27 — 18,92 = 1,35 m,

kleinste Förderhöhe + 19,27 — 18,92 = 0,35 m.

Die für diese Anforderungen hergestellte, aus den Abb. 1 bis 4 auf Blatt 53 ersichtliche Schöpfwerkanlage besteht aus zwei von einander vollständig getrennten, aber in demselben Gebäude untergebrachten Pumpen- und Maschinensätzen. Die mit Condensation arbeitenden Dampfmaschinen sind Verbund-Tandem-Maschinen von 320 und 450 mm Cylinderdurchmesser und 500 mm Kolbenhub. Bei 8 Atmosphären Ueberdruck im Kessel, 0,285 Füllung im Hochdruckcylinder und 75 bis 80 Umdrehungen in der Minute fördern sie in der Secunde 3,75 cbm Wasser auf 0,85 m Höhe. Der Hochdruckcylinder ist mit einer für alle Füllungsgrade leicht von Hand stellbaren Meyerschen Expansions-Steuerung ausgestattet; die Condensation der Abdämpfe findet in einem Strahl-Condensator nach Patent Körting statt, der auf dem Druckrohr der zugehörigen Pumpe liegt, aus diesem das Wasser erhält und es auch dahin wieder abführt. Die Pumpen sind im Wasser liegende Kreiselpumpen mit senkrechter Achse in geschlossenem Gehäuse nach Patent Neukirch. Die Schaufelräder der Pumpen haben 1250 mm inneren und 2000 mm äußeren Durchmesser, die Saugerrohröffnung hat 1500 mm Durchmesser, während der Durchmesser des Druckrohranschlusses 1200 mm beträgt. Die Kreisel können nach der ohne jede Schwierigkeit auszuführenden Entfernung des Deckels auf dem Gehäuse leicht gehoben werden, und außerdem kann der ganze Pumpenschacht dadurch frei gemacht werden, daß die eine Hälfte des Maschinenbettes, das in der Mitte getheilt ist, entfernt wird. Kreiselpumpen mit senkrechter Achse wurden gewählt, weil einmal diese Pumpen das Wasser nicht höher heben, als nöthig ist, und weil sie ferner sofort ansaugen. Es entfallen infolge dessen zu gunsten einer größeren Nutzleistung die bei Kreiselpumpen mit wagerechter Achse nothwendigen Nebentheile, wie die Ansaugvorrichtung und das Rückschlagventil.

Eigentliche Saugleitungen haben die Kreiselpumpen nicht, da sie sich beim Betriebe im Wasser befinden und der Bütteler Canal an dem Pumpwerk derartig verbreitert worden ist, daß die nördliche Längsseite des Maschinenhauses in ihrem unteren Theil zugleich die Begrenzung der neu entstandenen Wasserfläche bildet. Die mit ihrer Unterkante annähernd auf der Höhe + 17,80 liegenden, 1200 mm weiten, aus Flusseisenblechen von 12 mm Wandstärke angefertigten Druckrohre, für jede Kreiselpumpe ein Rohr, sind aus drei Schüssen von je rund 7,50 m Baulänge hergestellt. Die Bleche der einzelnen Schüsse sind durch außen liegende Rundlaschen mit einander verbunden, im Innern der Rohre sind die Nietköpfe versenkt. Die Schufs-Enden sind mit kräftigen

Winkeleisenflanschen versehen, die Verbindung der Schüsse unter einander und mit der Pumpe ist mit Hilfe von Gummidichtungen durch Schraubenbolzen erfolgt. Die Druckrohre sind unter dem Deich, der sich zwischen dem Maschinenhaus und dem Kaiser Wilhelm-Canal befindet, hindurchgeführt und endigen im Canal außerhalb eines daselbst angelegten, an die Sperrschleuse anschließenden Bohlwerkes. Vor dem Bohlwerk ist die Sohle der daselbst angeordneten Canalerweiterung durch eine kräftige Pflasterung und in weiterer Ausdehnung durch Steinschüttungen gegen Ausspülung durch den aus den beiden Druckrohren kommenden Wasserstrom gesichert. Die schräg abgeschnittenen Enden der Druckrohre sind mit Klappen versehen und können durch diese mit Hilfe einer Feststellvorrichtung sowohl gegen von innen wie von außen wirkenden Wasserdruck dicht verschlossen werden.

Zu den beiden Kreiselpumpen gehört ein eingemauerter Dampfkessel von 1,50 qm Rostfläche und 57 qm wasserberührter Heizfläche, in dem Dampf von 8 Atmosphären Ueberdruck erzeugt wird. Die Länge des Kessels beträgt 5 m, der Durchmesser 1,80 m. Das aus Wellrohr hergestellte Flammrohr hat 1000 bis 1100 mm Durchmesser, die in der zweiten Hälfte des Kessels angeordneten 48 Feuerrohre haben je 76 mm äußeren Durchmesser. In dem Kesselhaus ist noch ein zweiter Kessel aufgestellt, der dieselbe Einrichtung hat wie der soeben beschriebene, aber nur 27 qm Heizfläche besitzt. Dieser zweite Kessel liefert den Dampf für die beiden zu der Wasserleitungsanlage gehörigen Pumpmaschinen und für die Dampfmaschine der Bewässerungsanlage.

Der Zweck dieser Bewässerungsanlage ist oben bereits erwähnt worden. Es handelte sich darum, für rund 183 ha Ackerland, Wiesen und Rethländereien, die eine Gerechtsame auf Bewässerung durch den Bütteler Canal besaßen und nach der Herstellung des Kaiser Wilhelm-Canals das dazu erforderliche Wasser nicht mehr auf dem bisherigen Wege erhalten konnten, eine anderweitige Bewässerung zu schaffen. Die Ländereien lagen westlich von dem Bütteler Canal, während das Pumpwerk östlich davon angelegt werden mußte. Ueber die für die Bewässerung nothwendigen Wassermengen war dadurch leicht Aufschluß zu erhalten, daß der Unternehmer der Erdarbeiten in der dem Pumpwerk benachbarten Canalstrecke behufs Ermöglichung eines günstigen Baubetriebes eine vorläufige Bewässerungsanlage geschaffen und in den Jahren 1891 und 1892 in Betrieb gehalten hatte. Aus den dabei gemachten Erfahrungen ging hervor, daß in den Monaten Mai bis September an etwa 90 Tagen zusammen höchstens 500 000 cbm Wasser für die Bewässerung zur Verfügung zu stellen sind. Dementsprechend wurde dann auch die endgültige Pumpenanlage bemessen. Sie besteht aus einer ein cylindrischen Dampfmaschine von 160 mm Cylinderdurchmesser und 160 mm Kolbenhub, die bei 8 Atmosphären Ueberdruck im Kessel und 0,5 bis 0,6 Füllung der mit ihr ohne Uebersetzung verbundenen wagerechten Achse der über Wasser liegenden Kreiselpumpe, nach Patent Neukirch, in der Minute 180 bis 200 Umdrehungen ertheilt. Die Schaufelräder der Pumpe haben 380 mm inneren und 800 mm äußeren Durchmesser, Saug- und Druckrohr haben je 325 mm Durchmesser. Die Pumpe liefert in der Minute 10 cbm Wasser, leistet also 540 000 cbm in 90 Tagen schon bei täglich nur zehnstündigem Betriebe. Die Hubhöhe beträgt höchstens 0,93 m, da der Wasserstand im Bütteler Canal am Maschinenhaus mindestens auf + 18,92 liegt und der auf der Westseite des Bütteler Canals gelegene, aus der Text-Abb. 331 ersichtliche Malbusen nur bis 19,85 aufgepumpt wird. Das Druckrohr der Bewässerungspumpe ist unter der Sohle des erweiterten Bütteler Canals verlegt und mündet auf der Höhe

+18,80 in den Malbusen. Von hier aus wird das Bewässerungswasser den einzelnen, von einander getrennt liegenden Gebieten in offenen Gräben zugeführt.

Das Maschinenhaus, das Kesselhaus, der gemauerte, oben 1 m im Lichten weite und 25,30 m über dem Maschinenflur hohe Schornstein, sowie das Gebäude der Enteisungsanlage sind auf Pfahlrost gegründet, ebenso werden die Druckrohre der Entwässerungspumpen von Pfahljochen getragen. Der Kohlschuppen und ein neben dem Pumpwerk errichtetes Wärter-Wohngebäude sind auf eine Sandschüttung gegründet. Die Gesamtkosten der Anlage am Kudensee belaufen sich einschl. aller Nebenausgaben auf rd. 175 000  $\mathcal{M}$ .

Der Bau der Wasserleitung und des Pumpwerks wurde in drei getrennten Zeitabschnitten ausgeführt. Im Frühjahr 1893 wurden die Rohrleitungen zwischen dem Pumpwerk und Brunsbüttel verlegt, die Anlagen in Brunsbüttel selbst jedoch nur vorläufig hergestellt und ebenso bei km 6,70 eine vorläufige Wassergewinnung und Wasserförderung eingerichtet. Es geschah das mit größter Beschleunigung, damit den beim Schleusen- und Hafenaufbau sowie bei den Erdarbeiten beschäftigten Beamten und Arbeitern gutes Wasser zur Verfügung stand, wenn die Cholera, die im Jahre zuvor in Hamburg sehr stark aufgetreten war, sich wieder zeigen sollte, was dann aber glücklicherweise nicht geschehen ist. Im Jahre 1894 wurde das Entwässerungs- und das Bewässerungswerk erbaut und im Jahre 1895 endlich die Enteisungsanlage, deren Nothwendigkeit sich bei der bisherigen Benutzung der Wasserleitung herausgestellt hatte. Die Pumpen sowie die zugehörigen Dampfmaschinen und Kessel sind von L. W. Bestenbostel und Sohn in Bremen geliefert und aufgestellt. Die Anlage entspricht in jeder Beziehung den an sie gestellten Anforderungen.

## 2. Die Wasserleitung in Holtenau.

Die Wasserleitungsanlage in Holtenau hat dieselben Zwecke zu erfüllen wie die Anlage in Brunsbüttel, jedoch mit dem einen Unterschiede, daß sie das Kesselspeisewasser der Centralmaschinenanlage und das Betriebswasser für die Bewegungsvorrichtungen der Schleusen nicht zu liefern hat. Entnommen wird das benötigte Wasser aus dem auf dem südlichen Schleusengebäude in der Nähe der Centralmaschinenanlage hergestellten, auf Seite 59 und 60 beschriebenen Brunnen. Die Entnahme erfolgt durch die mit den Prefspumpmaschinen verbundenen Zubringerpumpen. In die von diesen Pumpen nach den Wasserbehältern im Accumulatorenthurm führende gemeinschaftliche Steigeleitung ist ein Absperrventil eingebaut, mit dessen Hilfe die Verbindung zwischen den Zubringerpumpen und den Behältern aufgehoben werden kann. An den im Rohrkeller unter der Maschinenhalle liegenden gemeinsamen Druckrohrstrang der Zubringerpumpen ist eine ebenfalls mit einem Absperrventil versehene Rohrleitung angeschlossen, die nach dem Hochbehälter der Wasserleitungsanlage führt. Die Zubringerpumpen können also je nach der Stellung der beiden oben erwähnten Absperrventile entweder Wasser in die Behälter im Accumulatorenthurm oder in den Hochbehälter der Wasserleitungsanlage fördern. Die Benutzung der Zubringerpumpen für die Zwecke der Wasserleitung wurde der Beschaffung einer besonderen kleinen Pumpe vorgezogen, weil die Prefspumpmaschinen in Holtenau nur selten in Benutzung kommen, aber jederzeit betriebsbereit sein müssen und deshalb in sehr kurzen Zeitabschnitten auf ihre Betriebsfähigkeit zu prüfen sind. Wird bei diesen Prüfungen mit den Zubringerpumpen zugleich Wasser in den Hochbehälter der Wasserleitungsanlage gefördert, so entsteht dadurch ein nur sehr geringer Mehrverbrauch an Dampf, und die Kosten der Wasserförderung sind deshalb geringer, als

wenn für diese eine besondere Pumpe beschafft und in Betrieb gehalten werden müßte. Die getroffene Einrichtung empfahl sich um so mehr, als der tägliche Wasserverbrauch in Holtenau erheblich geringer anzuschlagen ist als in Brunsbüttel, und der Hochbehälter doch, um ihn zur Abgabe größerer Wassermengen an Kriegsschiffe oder Handelsdampfer zu befähigen, denselben Inhalt wie in Brunsbüttel erhalten mußte.

Der Hochbehälter bildet den bemerkenswerthe Theil der Anlage und soll hier eingehend besprochen werden. Er ist in den Abb. 8 bis 11 Bl. 53 dargestellt und nördlich von den Schleusen hinter den an einem Bergabhang gelegenen Dienstwohngebäuden auf der höchsten Stelle der im Besitz der Canalbauverwaltung befindlichen Ländereien erbaut worden. Der niedrigste Wasserstand im Behälter mußte auf der Höhe +43,0 liegen, da bei tieferer Lage mehrere Dienstwohngebäude kein Wasser aus ihm hätten erhalten können, anderseits durfte der höchste Wasserstand aus örtlichen Gründen nicht höher als +44,50 angenommen werden, und daraus ergab sich die nutzbare Wasserhöhe im Behälter zu 1,50 m. Der innere Raum ist durch eine Zwischenwand in zwei gleich große Kammern abgetheilt, die vollständig unabhängig von einander benutzt werden können, sodafs Ausbesserungsarbeiten im Behälter ohne jede Störung des Wasserleitungsbetriebes vorgenommen werden können.

Die Baustelle hat einen sandigen durchaus tragfähigen Untergrund; für das Mauerwerk des Behälters waren daher besondere Gründungsarbeiten nicht nöthig. Die Sohle wurde aus Beton, Wände und Decke aus Ziegelmauerwerk hergestellt. Zu dem Beton wurde Cementmörtel mit einem Zusatz von Trafs, zu dem Ziegelmauerwerk Cement-Kalkmörtel verwandt. Die mit Wasser in Berührung kommenden Boden- und Wandflächen haben, um sie wasserundurchlässig zu machen, einen starken, in drei Lagen sorgfältig hergestellten Cementputz erhalten.

Zum Schutz des Wassers gegen Einflüsse der Außenluft ist der Behälter mit Kappengewölben überdeckt, auf denen eine im Mittel 1 m starke Bodenschicht ruht. Die Kappen sind  $\frac{1}{2}$  Stein stark und wasserdicht abgedeckt; sie sind derartig übermauert, daß das durch den Boden sickende Tageswasser gut abfließen kann. Jede der beiden Kammern des Behälters ist von einem gemeinsamen, mit einer doppelten Holzabdeckung versehenen Einsteigeschacht aus zugänglich und hat außerdem ein gemauertes Lüftungsrohr. Die Zuleitung des Wassers zum Behälter und die Ableitung aus diesem zu den Verbrauchsstellen findet durch ein gemeinschaftliches Rohr statt, das sich in einer vor dem Behälter angelegten Kammer in zwei Stränge theilt. Jeder Strang ist mit einem Absperrventil versehen, sodafs beliebig die eine oder die andere Hälfte des Behälters außer Benutzung gesetzt werden kann. In die Kammer führen ferner eine Ueberlaufleitung, die in Wirksamkeit tritt, wenn der Wasserstand im Behälter das festgesetzte Höchstmals überschreitet, und zwei zur Trockenlegung der beiden Wasserkammern bestimmte, mit Abschlußventilen versehene Abflusrohre, die von gemauerten Gruben in der Sohle des Behälters ausgehen und an die Ueberlaufleitung angeschlossen sind. Letztere besteht in ihrem oberen Theile aus zwei Rohren — je eins für die beiden getrennten Wasserkammern im Behälter —, die sich in der Kammer vor dem Behälter zu einem Rohr vereinigen. Die Kammer ist durch einen Schacht mit Steigeleiter zugänglich.

In der Halle für die Prefspumpen ist ein elektrisch betriebenes Zeiger- und Signalwerk aufgestellt, welches dazu dient, den jeweiligen Wasserstand im Hochbehälter anzuzeigen und durch ein Glockensignal darauf aufmerksam zu machen, daß die Pumpmaschine an- oder abgestellt werden muß. Die Einrichtung ist nach dem deutschen Reichs-Patent Nr. 77 082 von Prött und Wagner ausgeführt. Sie besteht aus drei

Theilen, dem Stromschlußgeber nebst Schwimmer am Hochbehälter, dem Wasserstandsanzeiger nebst Lärmglocke und der elektrischen Batterie in der Centralmaschinenanlage, und dem beide Vorrichtungen verbindenden Kabel. Der Stromschlußgeber mit dem Schwimmer ist mit Rücksicht darauf, daß von den beiden Wasserkammern des Hochbehälters zeitweilig nur eine in Betrieb sein wird, nicht in dem Behälter selbst, sondern in einem Rohr angebracht, welches, wie Abb. 9 Bl. 53 zeigt, mit dem Wasser-Zu- und Abflußrohr in Verbindung steht. Das Schwimmerrohr steht auf einem Stutzen des T Stücks, in welchem sich das Zu- und Abflußrohr in die beiden nach den Wasserkammern führenden Rohrstränge theilt; es ist 300 mm weit und trägt am oberen Ende einen Kasten, in dem die Stromschlußgeber-Vorrichtung untergebracht ist. Diese ist so eingerichtet, daß bei je 5 cm Senkung oder Steigen des Wasserstandes das Zeigerwerk im Maschinenhaus in Wirkung kommt und außerdem eine Lärmglocke ertönt, sobald der Wasserstand den höchsten Stand erreicht hat oder bis auf die Höhe von 50 cm über dem niedrigsten Stand abgefallen ist.

Der Hochbehälter ist im Spätherbst 1895 hergestellt worden; er hat einschl. aller zugehörigen Leitungstheile und des Wasserstandsanzeigers 13 000 M gekostet.

### 3. Die Werft am Saatsee.

Die Werft liegt auf dem nördlichen Ufer des Canals zwischen km 62 und 63 auf einem Gelände, das größtentheils durch Ablagerung von Baggerboden in dem vom Canal durchschnittenen ehemaligen Saatsee gewonnen worden ist. Sie dient zur Instandhaltung und Instandsetzung sämtlicher Schiffsgefäße und Maschinen, die im Canalbetriebe verwandt werden. Dazu gehören auch die Bewegungsvorrichtungen der Schleusen und Drehbrücken, sowie die längs der Canalstrecke aufgestellten Signale, soweit die Unterhaltung dieser Anlagen nicht von den in Brunsbüttel und Holtenau sowie bei den Drehbrücken angelegten kleinen Werkstätten ausgeführt wird. Außerdem wird auf der Werft das in den Gasbojen der Canalbeleuchtung zu verbrauchende Fettgas hergestellt.

Die Wasserfläche der Werft am Saatsee setzt sich, wie die Text-Abb. 332 zeigt, aus dem eine Verbreiterung des Canals bildenden, von ihm durch eine Reihe von Pfahlbündeln abgetrennten Außenhafen und dem Binnenhafen zusammen. Die Sohle beider Hafenflächen liegt auf der Höhe + 15,77, sodafs die Wassertiefe bei mittlerem Canalwasserstande 4,20 m

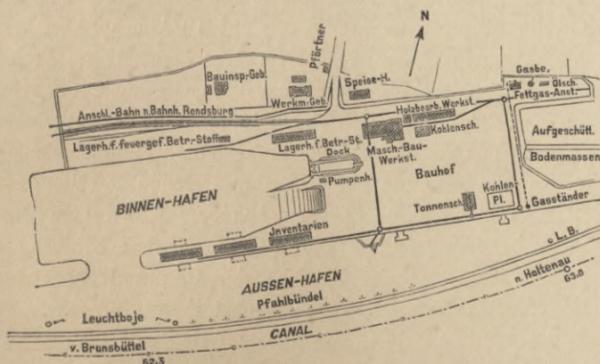


Abb. 332. Lageplan der Werft am Saatsee.

beträgt. Die Ufer der Häfen sind in gleicher Weise wie die Canalufer in den benachbarten Strecken durch Steinpflasterungen abgedeckt. Das Werftgelände liegt an den Ufern überall auf der Höhe + 21,52 und steigt von dort aus bis zur Höhe + 22,27 an.

Die Werft hat am Außenhafen fünf hölzerne Anlegebrücken und am Binnenhafen deren zwei. Zwischen den letzteren und den drei westlichen Landebrücken am Außenhafen sind

drei langgestreckte schmale Gebäude errichtet, die zur Aufnahme der den Dampfmaschinen der Canalbetriebsverwaltung überwiesenen Inventarstücke dienen. Jeder Dampf hat seinen getrennten Raum, seine sogenannte Schiffskammer. In der Nähe der am meisten östlich gelegenen Landebrücke des Außenhafens ist ein Kohlenlagerplatz und ein Tonnenschuppen vorgesehen. Von dem Lagerplatz erhalten die Dampfmaschinen der Canalverwaltung und diejenigen Verbrauchsstellen, die nur einen geringen Bedarf haben, die zum Betriebe erforderlichen Kohlen. Die Betriebe mit großem Kohlenverbrauch erhalten die Kohlen zwar auch durch Vermittlung der Werft, aber sie werden ihnen von den Zechen ohne den Umweg über die Werft geliefert. In dem Tonnenschuppen lagert der für Bedarfsfälle bereit gehaltene Ersatz an Gasbojen, Festmachertonnen, Fahrwassertonnen und dergl. Dicht neben der, von Osten gerechnet, zweiten Außenhafen-Landebrücke ist ein Dreibeinkrahn von 30 t Tragfähigkeit auf einem im Grundriß trapezförmigen Mauerwerkkörper aufgestellt. Der Krahn kann nach dem Canal zu um 9 m über die Fußpunktmitte der Vorderbeine hinaus ausladen, nach Land zu beträgt seine Ausladung 2,50 m. Die Winde für das Heben der Lasten und die Vorrichtung zur Veränderung der Ausladung werden von einer elektrischen Arbeitsmaschine von 12 Pferdekräften Nutzleistung angetrieben; beide sind in einem Wellblechhäuschen aufgestellt. Der Krahn ist auch mit einer Nebenwinde für Lasten bis zu 5 t Gewicht ausgerüstet. Diese Winde kann entweder elektrisch oder von Hand angetrieben werden.

Einen wesentlichen und infolge der ziemlich großen Anzahl von Dampfmaschinen, die der Canalbetriebsverwaltung ge-

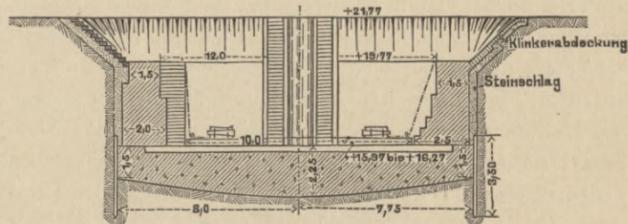


Abb. 333. Querschnitt des Trockendocks auf der Werft am Saatsee.

hören, sehr stark benutzten Bestandtheil der Werft bildet das am Binnenhafen gelegene Trockendock, dessen Querschnitt aus der Text-Abb. 333 zu ersehen ist. Das ganz aus Beton und Ziegelmauerwerk unter sparsamer Verwendung von Granitwerksteinen hergestellte Dock hat eine nutzbare Länge von 40 m und in dem bis zur Höhe + 21,77 hinaufgeführten, mit einem zweiflügeligen Holzthor versehenen Haupt oben 9,00 und über dem Drempele 8,50 m Lichtweite. In die Docksohle sind in 1,25 m Entfernung von einander hölzerne Querbalken eingelassen, die die Sohle gegen Aufbrechen durch den von unten her wirkenden Wasserdruck sichern sollen. Zum Entleeren des Docks dient eine Kreiselpumpe mit wagerechter Achse, die von einer 16 pferdigen elektrischen Arbeitsmaschine angetrieben wird und das Dock in 2 1/2 Stunden leer pumpt. Der Durchmesser der Druckrohre beträgt 350 mm. Eine kleinere Pumpe mit einer 1 1/2 pferdigen elektrischen Antriebsmaschine dient zur Entfernung des Leckwassers. Beide Pumpen sind in einem hölzernen Schuppen aufgestellt, der auch noch Raum für eine früher beim Bau des Canals benutzte Locomobile bietet, die zum Betriebe der Pumpen benutzt werden soll, wenn die elektrischen Maschinen entweder selbst betriebsunfähig sind oder von der später zu erörternden Erzeugungsstelle nicht mit dem nöthigen Strom versorgt werden können. Für eine neben dem Dock herzustellende Hellinganlage sind vorläufig nur die Erdarbeiten ausgeführt, der Helling selbst soll erst erbaut werden, wenn das Dock nicht mehr imstande ist, den Anforderungen der Werft zu genügen.

Auf dem Helling sollen dann vorwiegend die kleineren Schiffsfäße aufgezogen werden, sodafs das Dock für die gröfseren Schiffe frei sein wird.

In der Nähe des Docks befinden sich die Hauptgebäude der Werft: die Maschinenbauwerkstatt und die Schmiede mit dem Kesselhaus, einem angebauten Raum für den elektrischen Kraftsammler und dem gemauerten Schornstein. Nicht weit davon ist die Holzbearbeitungswerkstatt mit dem Holzschuppen und ein Kohlschuppen angelegt. Die Schmiede ist ebenso wie die Maschinenbauwerkstatt und das Kesselhaus aus Ziegelmauerwerk hergestellt, zum Tragen der Dacheindeckung dienen eiserne Binder. In der Schmiede, einem  $23,50 \times 13$  m im Lichten großen Raum, sind vier Doppelfeuer an den Wänden, ein freistehendes Rundfeuer, ein Dampfhammer, eine Blechbiegemaschine, eine Scher- und Lochmaschine, eine Bohrmaschine, ein Ventilator und eine große Richtplatte untergebracht. Auf die spätere Aufstellung eines Laufkrahnes von 15 t Tragfähigkeit, der den ganzen Raum der Schmiede bestreichen soll, ist Bedacht genommen. Zum Abziehen des Rauches dient ein über die ganze Länge des Gebäudes durchgehender Dachreiter mit halboffenen Längswänden.

Die Maschinenbauwerkstatt steht mit der Schmiede durch eine große Thüröffnung in Verbindung. Sie ist 31,80 m im Lichten lang, 15 m zwischen den Außenwänden breit und durch zwei Reihen von eisernen Säulen in drei Längsschiffe geteilt. Die eisernen Säulen dienen nicht nur zur Unterstützung des Holzcementdaches, sondern sie tragen auch die Laufschiene für einen das 6 m im Lichten weite Mittelschiff überspannenden Laufkrahnen von 10 t Tragfähigkeit. Das Mittelschiff ist höher als die Seitenschiffe, zahlreiche Fenster in den Längswänden des Werkstattgebäudes und der freien Giebelwand sorgen für ausreichende Tagesbeleuchtung. In dem Mittelschiff, bzw. soweit in dieses hineinragend, dafs sie von dem Laufkrahnen aus bedient werden können, sind die schwereren Werkzeugmaschinen aufgestellt, die leichteren stehen in den Seitenschiffen. Vorhanden sind an Werkzeugmaschinen: elf Drehbänke verschiedener Größe, eine Hobelmaschine, zwei Bohrmaschinen, eine Stoßmaschine, eine Wagerechtbohrmaschine, eine Shapingmaschine, eine Schraubenschneidmaschine, sowie mehrere kleinere Arbeitsmaschinen für verschiedene Zwecke und eine Anzahl von Feilbänken mit zusammen 28 Schraubstöcken. Angetrieben werden die Werkzeugmaschinen von zwei Triebwellen aus, die an den das Mittelschiff begrenzenden eisernen Säulen gelagert sind.

Die Triebwellen werden gewöhnlich durch Riemenübertragung von einer in der Werkstatt selbst aufgestellten Verbund-Wanddampfmaschine von 40 Pferdekraften Arbeitsleistung, die im Sommer mit Einspritzcondensation arbeitet, im Winter aber den Abdampf in die Dampfheizungsanlage sendet, bewegt. Den für die Maschine erforderlichen Dampf liefert ein im Kesselhause aufgestellter Einflammrohr-Walzenkessel von 45 qm Heizfläche. Zur Speisung des Kessels dient eine im Kesselhause aufgestellte Dampfpumpe, die auch dazu benutzt wird, um einen an dem gemauerten Schornstein angebrachten Behälter mit Wasser zu füllen. Der Behälter bildet einen Bestandtheil der sich über die ganze Werft erstreckenden und z. B. an den Anlegebrücken mit Hydranten versehenen Wasserleitungsanlage der Werft. Die Dampfpumpe entnimmt das in den Behälter zu fördernde Wasser einem Rohrbrunnen, während das Kesselspeisewasser einer Grube entnommen wird, in die sich das von der Betriebsmaschine kommende Einspritzwasser ergießt, um von dort durch eine Rohrleitung in den Canal abzufießen. Das zur Kesselspeisung aufgepumpte Wasser ist also so lange stark vorgewärmt, als die Betriebsmaschine mit Condensation arbeitet.

Außer den Triebwellen, zu denen auch die bisher nicht erwähnte Welle in der Schmiede gehört, treibt die Betriebsmaschine noch mittels eines Riemenvorgeleges eine elektrische Gleichstrom-Dynamomaschine von 13 Kilowatt Leistung bei planmäßiger Belastung. Die Dynamomaschine stellt den elektrischen Strom her, der für die Beleuchtung der Werft und für den Antrieb der verschiedenen elektrischen Arbeitsmaschinen gebraucht wird. Da der Stromverbrauch der Arbeitsmaschinen sehr wechselt und die Betriebsdampfmaschine im allgemeinen nur am Tage laufen soll, mußte ein elektrischer Kraftsammler angelegt werden. Dieser besteht aus 60 Zellen, die bei 110 Volt Spannungsunterschied an den Entladeklemmen ein Fassungsvermögen von 300 Ampèrestunden haben. Zur Beleuchtung der Werft, der Werkstätten, der Vorrathsräume und der Dienstzimmer sind zusammen vier Bogenlampen und 140 Glühlampen vorgesehen. An Arbeitsmaschinen werden elektrisch betrieben: die Winden des Dreibeinkrahnes, die Antriebsmaschine der beiden Dockpumpen und die Hebe- und Bewegungsvorrichtungen des Laufkrahnes in der Maschinenbauwerkstatt. Da es zuweilen vorkommt, dafs nachts einige Werkzeugmaschinen im Gange sein müssen, so ist für jede der beiden Triebwellen in der Maschinenbauwerkstatt eine elektrische Antriebsmaschine von fünf Pferdekraften Arbeitsleistung vorgesehen, die den benötigten Strom aus dem elektrischen Kraftsammler erhält. In solchem Falle ist es also nicht nöthig, dafs die Hauptbetriebsmaschine die Nacht über läuft.

Die Holzbearbeitungswerkstatt, der Holzschuppen und der Kohlschuppen sind aus Riegelwerk mit Bretterverkleidung hergestellt und mit Pappe eingedeckt. In gleicher Weise ist das Materialvorrathsgebäude und die Arbeiterspeisehalle ausgeführt, letztere hat jedoch auch eine innere Bretterverschalung erhalten. Das Lagerhaus für feuergefährliche Betriebsstoffe liegt westlich von den übrigen Gebäuden der Werft und in einiger Entfernung davon. Es ist ebenso wie die nördlich von den beiden Lagerhäusern angelegten Dienstwohngebäude für den Canalbauinspector, dem die Werft unterstellt ist, sowie den Werkmeister und den Materialverwalter der Werft aus Ziegelsteinen erbaut und mit Schiefer auf Schalung eingedeckt.

In der äußersten nordöstlichen Ecke des Werftgebietes ist die nach der Anordnung von Pintsch angelegte Fettgasanstalt erbaut. Das Hauptgebäude ist in drei Räume zerlegt; der erste enthält eine Locomobile, zwei Retortenöfen und eine Wasserpumpe, der zweite die Gasreiniger und der dritte die Gaspresspumpe, die das auf 10 Atmosphären verdichtete Gas in einen neben dem Hauptgebäude im Freien liegenden Behälter fördert. Aus diesem gelangt das Gas durch eine Rohrleitung nach einem in der Nähe der östlichsten Anlegebrücke des Aufsenhafens aufgestellten Füllungsständer, von dem aus zwei auf einem Prahm liegende Behälter von je 10 cbm Inhalt gefüllt werden können. Neben dem Gasbehälter befindet sich das aus Ziegelmauerwerk hergestellte Lagerhaus für die beim Betriebe der Gasanstalt benutzten Oele. Jährlich werden etwa 6000 cbm Fettgas erzeugt.

Die Werft ist durch ein Anschlußgleis mit dem Bahnhof Rendsburg verbunden. Die mit fünf Drehscheiben und einer Weiche versehene Gleisanlage auf dem Werftgebiet selbst ist so angeordnet, dafs die Eisenbahnwagen nach allen Stellen hin gelangen können, wo schwere Stücke zu verladen sind.

Erbaut wurden die Werftgebäude, die Landebrücken und das Dock im wesentlichen im Jahre 1895. Am 1. Februar 1896 konnte die Anlage in planmäßigen Betrieb genommen werden. Die Baukosten betragen mit Einschluß der Kosten für Anschaffung der Arbeitsmaschinen und Geräte rund

750 000  $\mathcal{M}$ . Der durchschnittliche Arbeiterbestand der Werft beläuft sich zur Zeit auf rund 100 Köpfe.

Der Werft gegenüber auf dem südlichen Canalufer lagern die acht Ersatz-Thorflügel der Schleusen in Brunsbüttel und Holtenau. Der Lagerplatz ist derartig hergestellt und mit einem zerlegbaren Helling und den Festpunkten für Flaschenzüge und Winden ausgestattet, daß die Thorflügel jederzeit schnell zu Wasser gebracht und ebenso auf Land befördert werden können.



Abb. 334. Wohnhaus für Fährwärter. Erdgeschofs. 1:300.

#### 4. Die Amts- und Dienstwohngebäude.

Neben zwei Hafenamtsgebäuden in Brunsbüttel und Holtenau, in denen aufser einer Wohnung für einen Amtsdienner nur Geschäftsräume enthalten sind, und vier Lotsen-Schlaf- und Wachthäusern, von denen sich zwei in Brunsbüttel und je eins in Nübbel bei km 57,20 und in Holtenau befinden, sind für die Betriebsbeamten des Kaiser Wilhelm-Canals eine große Anzahl von Wohngebäuden erbaut. So befinden sich in Brunsbüttel und Holtenau je drei Einzelwohngebäude für den dort angestellten Canalbauinspector, den Hafencapitän und den Obermaschinisten, sowie je zwei Doppelwohngebäude für Schleusenmeister, Hafenmeister und Oberlotsen und je sechs Doppelwohngebäude für Schleusenwärter und Maschinisten. An den vier über den Canal

führenden Drehbrücken sind zusammen acht Doppelwohngebäude für Maschinisten, Brückenwärter und Signalwärter erbaut, an der Prahmdrehbrücke in Holtenau, an den Hochbrücken bei Grünenthal und Levensau, an der Schleuse bei Rendsburg und an den 13 Fahren ist je ein Wärterhaus errichtet. Neben der Werft am Saatsee ist ein Einzelwohnhaus für den dortigen Canalmaschinenbauinspector und ein Doppelwohnhaus für den Werkmeister und den Materialverwalter der Werft aufgeführt. Bei vier Ausweichstellen war die Anlage von Einzelwohnhäusern, bei fünf diejenige von Doppelwohnhäusern notwendig, und aufserdem sind längs der Canalstrecke noch etwa zehn Wohngebäude für Canalmeister, Leitungsaufseher, Wärter an den kleinen Schifffahrtsschleusen und für die Bedienungsmannschaft des Pumpwerks am Kuden-see errichtet worden.

Alle diese Gebäude sind in Ziegelrohbau hergestellt und mit Schiefer eingedeckt, während die zugehörigen Stallbauten theils in Stein, theils in Fachwerk ausgeführt sind. Wegen der großen Zahl der Gebäude kann weder auf die Anordnung der Grundrisse noch auf die Ausbildung der Einzelheiten der Gebäude eingegangen werden, es sei hier nur bemerkt, daß die kleineren Einzelgebäude (Text-Abb. 334) ohne Grunderwerb im Durchschnitt einen Aufwand von 7500  $\mathcal{M}$  erfor-

dert haben, während z. B. die mit etwas größeren Wohnungen versehenen Doppelhäuser für Schleusenwärter und Maschinisten mit dem in der Text-Abb. 335 dargestellten Grundrifs in Brunsbüttel je 20 000  $\mathcal{M}$  gekostet haben, und

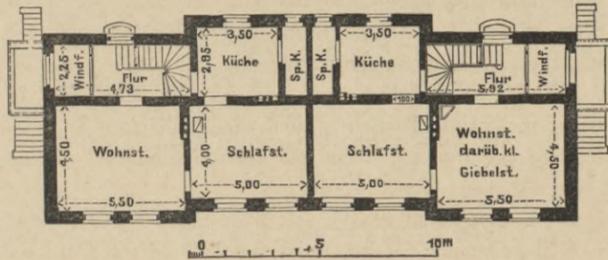


Abb. 335. Doppelwohnhaus für zwei Schleusenwärter. Erdgeschofs.

daß durchgängig auf eine gefällige äußere Erscheinung der Häuser, soweit sie sich mit einfachen Mitteln erreichen liefs, Werth gelegt wurde. — Mit der Herstellung der Wohngebäude wurde überall dort, wo eine länger andauernde

Beschäftigung von Beamten zu erwarten und die Anmietung von günstig gelegenen Wohnungen überhaupt nicht möglich oder doch mit Schwierigkeiten verknüpft war, so zeitig begonnen, daß die Gebäude bereits bezogen werden konnten, als die eigentliche Bauausführung an der betreffenden Stelle begann. So hat ein großer Theil der bei den Bauten in Brunsbüttel und Holtenau beschäftigt gewesenen Bau- und Bureaubeamten in den für die Schleu-



Abb. 336. Dienstwohngebäude bei Holtenau.

senmeister, Hafenmeister, Oberlotsen, Maschinisten und Schleusenwärter der Canalbetriebsverwaltung bestimmten Dienstwohngebäuden Unterkunft gefunden. An anderen Stellen, an denen Beamte nur während der Bauausführung wohnen mußten, wurden für diese Wohngebäude aus Riegelwerk mit doppelter Brettverschalung und mit Dachpappen-Eindeckung hergestellt, die später verkauft worden sind.

Zu sämtlichen Dienstwohngebäuden gehören Gärten; einigen, die weitab von bestehenden Ortschaften errichtet werden mußten, sind auch kleinere Stücke Ackerland beigelegt worden.

Bei den beiden Endschleusen bilden die Dienstwohnungen größere zusammenhängende Gebäudegruppen, in denen die Lage der einzelnen Gebäude nach einem einheitlich aufgestellten Bebauungsplan bestimmt wurde. Die Text-Abb. 336 zeigt ein Schaubild von einem Theil der Holtenauer Dienstwohnungen. Im Vordergrund liegt der alte Schleswig-Holsteinische Canal, der an dieser Stelle später zugeschüttet ist, dann folgt ein Doppelwohngebäude für Schleusenmeister, Hafenmeister und Oberlotsen, und die drei noch höher gelegenen Doppelhäuser sind für Maschinisten und Schleusenwärter bestimmt.

**k. Die Schlepp-, Schleusen- und Bereisungsdampfer.**

Für die Zwecke des Canalbetriebes, sowie für die Beaufsichtigung des Betriebes und der Unterhaltungsarbeiten am Canal mußte eine ganze Flotte von Dampf- und Benzin- oder Petroleumbooten beschafft werden. Ein Theil der Dampf- und sämtliche Boote sind schon während der Bauausführung in Benutzung gewesen, die große Mehrzahl der Dampf- kam jedoch erst mit der Canaleröffnung in Betrieb, und sämtliche Schiffe sind unter alleiniger Berücksichtigung der Zwecke, denen sie beim Betriebe des Canals zu dienen haben, erbaut worden.

Die Flotte besteht aus den folgenden Schiffen und Booten:

- 15 Schleppdampfer für den Dienst innerhalb der Canalstrecke,
- 4 Schleppdampfer für den Dienst an den beiden Endschleusen,
- 2 Lotsendampfer,
- 5 Bereisungsdampfer,
- 7 Benzinboote,
- 1 Petroleumboot.

In betreff der Dampf- sind die Hauptabmessungen der Schiffskörper und Maschinen, sowie Angaben über Maschinenleistung, Anschaffungskosten und Namen der Erbauer in der nachstehenden Tabelle zusammengestellt.

dafs sie zum Aufbrechen mäfsig starken Eises verwandt werden können. Der Dampf „Königsberg“ soll nicht nur als Schleppdampfer, sondern auch als Bergungsdampfer dienen und ist deshalb mit einer Kreiselpumpe von 450 mm Rohrdurchmesser ausgestattet, die durch eine besondere ein-cylindrige Dampfmaschine betrieben wird. Das Saugerohr und das Ausgußrohr der Pumpe sind von dieser aus nach oben geführt und endigen auf Deck dicht neben der Reeling in je einem drehbaren Kopf. Am Saugkopf befinden sich sechs, durch Schieber einzeln verschließbare Verschraubungen zum Anschluß von Saugeschläuchen von 150 mm Durchmesser. Der Kopf des Ausgußrohres läßt das geförderte Wasser im allgemeinen frei über die Reeling auslaufen, er kann aber auch mit einem Deckel abgeschlossen werden, an dem sich eine Verschraubung zum Anbringen eines engeren Druckschlauches befindet. Ein solcher Schlauch soll in dem Falle angeschlossen werden, wenn aus einem beschädigten Schiff loses Getreide ausgepumpt und in ein anderes Schiff gefördert werden soll. Mittels des Druckschlauches, der dann an seinem freien Ende mit einem Mundstück versehen werden muß, kann unter einem gesunkenen Schiffe eine Rinne zum Durchbringen von Ketten oder Seilen hergestellt werden. Die Kreiselpumpe fördert bei 5 m Saughöhe bis zu 0,4 cbm

Gattung und Name der Dampf-er	An- zahl	Länge	Größte	Tiefgang	Wasser-	Rost-	Heiz-	Dampf-	Indicirte	Ge-	Kosten für einen Dampf-er	Name des Erbauers	Wohnort
		zwischen den Lothen	Breite über den Spanten	hinten	verdrän- gung	fläche des Kessels	fläche des Kessels	druck	Maschi- nen- leistung	schwin- digkeit ohne Anhang Seemehl in der Stunde			
		m	m	m	cbm	qm	qm	Atmo- sphären	Pferde- kräfte		„		
Schleppdampfer Berlin . . . .	2	je 26,00	5,70	3,00	139,40	2,640	97,79	10,00	300	11,50	109 000 100 000	Schichau	Elbing
„ München . . . .												„	„
„ Dresden . . . .	2	je 27,00	5,50	2,60	145,00	3,000	84,42	11,00	250	11,00	75 000	Howaldtswerke	Kiel
„ Stuttgart . . . .												„	„
„ Karlsruhe . . . .	4	je 19,00	5,00	2,10	92,40	2,100	72,35	10,00	180	8,50	56 210	Holtz	Harburg
„ Darmstadt . . . .												„	„
„ Schwerin . . . .												„	„
„ Oldenburg . . . .												„	„
„ Königsberg . . . .	1	17,50	5,00	1,85	59,00	1,310	44,83	7,50	95	8,25	48 400	Howaldtswerke	Kiel
„ Stettin . . . .	2	je 17,50	4,50	1,85	52,00	1,310	44,83	7,50	95	8,25	38 600	Howaldtswerke	Kiel
„ Rostock . . . .												„	„
„ Hamburg . . . .	4	je 17,00	4,00	2,00	38,00	1,070	34,89	8,00	90	8,50	28 125	Schichau	Elbing
„ Bremen . . . .												„	„
„ Lübeck . . . .												„	„
„ Danzig . . . .												„	„
„ Otto . . . . .	4	je 17,92	4,52	1,80	58,00	2,200	53,50	8,00	120	7,50	48 000	Schichau	Elbing
„ Ilse . . . . .												„	„
„ Christian . . . .												„	„
„ Heinrich . . . .												„	„
Lotsendampfer Holtenau . . . .	2	je 17,00	4,00	2,00	38,00	1,070	34,89	8,00	90	8,50	36 000 35 000	Schichau	Elbing
„ Brunsbüttel . . . .												„	„
Bereisungsdampfer Aegir . . . .	1	20,00	4,20	1,70	47,00	1,070	35,97	8,00	90	9,00	36 000	Schichau	Elbing
„ Barby . . . .	1	13,00	2,80	1,30	18,50	0,585	15,30	10,00	45	7,50	19 266	Holtz	Harburg
„ Helene . . . .	1	13,10	2,60	1,00	—	0,715	14,03	10,00	40	7,50	15 000	„	„
„ Kiel . . . .	1	11,50	2,20	1,00	—	0,440	10,23	7,00	22	7,50	15 000	Howaldtswerke	Kiel
„ Rendsburg . . . .	1	11,50	2,60	1,30	—	0,475	10,50	8,00	18	6,50	14 430	Jansen und Schmilinsky	Hamburg

Die zuerst genannten 15 Schleppdampfer sind dazu bestimmt, Segelschiffe durch den Canal zu schleppen und solchen Dampf-ern, die schlecht steuern, oder auf die Canalböschungen aufgelaufen sind, im Bedarfsfalle Hilfe zu leisten. Der Dampf-er „Berlin“ unterscheidet sich von seinem Schwester-schiff „München“ dadurch, dafs er mit einigen besser ein-gerichteten Wohn- und Schlafräumen ausgestattet ist und somit nöthigenfalls auch als Bereisungsdampfer benutzt werden kann. Hieraus erklärt sich auch sein etwas höherer Preis. Die Dampf-er „Stuttgart“ und „Dresden“ sollen zugleich als Eisbrecher Verwendung finden und sind sowohl nach der Form, als nach der Stärke des Schiffskörpers dementsprechend gebaut worden. Auch die Dampf-er „Hamburg“, „Bremen“, „Lübeck“ und „Danzig“ sind im Vordersteven so gebaut,

Wasser in der Secunde und erzeugt in einem Druckschlauch einen Ueberdruck von nahezu  $\frac{3}{4}$  Atmosphären. Der Dampf-er „Königsberg“ ist auch mit einer kleinen elektrischen Maschine versehen, die den für eine Bogenlampe und mehrere Glüh-lampen erforderlichen Strom erzeugen kann.

Die vier Schleppdampfer für den Dienst an den Endschleusen — „Otto“, „Ilse“, „Christian“ und „Heinrich“ — sind dazu bestimmt, Segelschiffe aus dem Binnen- und Aufsen-hafen oder von der Reede in und durch die Schleusen zu schleppen. Sie mußten deshalb thunlichst so eingerichtet werden, dafs sie in beiden Richtungen fahren und schleppen können, ohne wenden zu müssen. Zu diesem Zwecke sind sie an beiden Enden gleich geformt und haben an jedem der beiden Enden eine Schraube und ein Ruder erhalten. Die beiden

Schrauben haben eine gemeinschaftliche Welle, sodafs sie immer beide gleichzeitig arbeiten, die eine schiebend, die andere ziehend. Das Deck ladet an beiden Enden so weit aus, dafs die Ruder bei Berührungen des Schiffes mit Mauern oder Dalben nicht in Gefahr kommen.

Die Lotsendampfer sind verhältnismäfsig kleine, aber sehr kräftig und seetüchtig gebaute Schiffe. Sie dienen zum Absetzen von Lotsen an Schiffe, die in den Canal einlaufen wollen, und zum Abholen der Lotsen von Schiffen, die nach beendeter Durchfahrt ausgelaufen sind. Für die ankommenden und abgehenden Lotsen ist aufser in dem geräumigen Ruderhaus in einer im Vorschiff gelegenen Kajüte der nöthige Aufenthaltsraum vorgesehen.

Nach den bei der Abnahme der Schleppdampfer angestellten Versuchen und den beim Betriebe gesammelten Erfahrungen beträgt der Zug in der Schlepptrasse bei ruhigem Wetter, 10 km Fahrt in der Stunde und voller oder nahezu voller Ausnutzung der vorhandenen Maschinenkraft bei den kleinen Schleppdampfern etwa zehnmal, bei den grofsen Schleppern nahezu vierzehnmal so viel Kilogramme, als die Anzahl der indicirten Pferdekräfte. Bei den Schleusendampfern wirft die in der Fahrtrichtung vordere Schraube dem Schiffe Wasser entgegen, und deshalb ist bei diesen Schleppern die Ausnutzung der Maschinenkraft, namentlich bei gröfseren Geschwindigkeiten, etwas ungünstiger.

Der Bereisungsdampfer „Aegir“ ist für die Dienststreifen des Präsidenten und der Mitglieder der Canalbetriebsverwaltung bestimmt und mit einer Kajüte versehen, die etwa zwölf Personen aufzunehmen vermag. Die vier Barkassen „Barby“, „Helene“, „Kiel“ und „Rendsburg“ dienen dem Betriebsdirector, den Canalbauinspectoren in Brunsbüttel und Holtenau und dem Canalmaschinenbauinspector, dem die Werft am Saatsee unterstellt ist, zu dem gleichen Zwecke.

Die Benzin- und Petroleumboote werden von den Canalmeistern und den Leitungsaufsehern bei der Beaufsichtigung ihrer Dienstbezirke benutzt und dienen gelegentlich auch zur Beförderung kleinerer Mengen von Bau- und Betriebsstoffen, sowie zum Schleppen der Peilvorrichtungen.

#### I. Die Unterbringung und Verpflegung der Arbeiter. \*)

An Handwerkern, Schiffern, Erdarbeitern, einschliesslich der Baggermeister, Maschinisten, Schachtmeister usw. sind beim Bau des Canals beschäftigt worden:

im Baujahre 1888/89	durchschnittlich	3000	Mann
„ „ 1889/90	„	6000	„
„ „ 1890/91	„	7230	„
„ „ 1891/92	„	7114	„
„ „ 1892/93	„	7086	„
„ „ 1893/94	„	7264	„
„ „ 1894/95	„	5918	„

Der höchste Bestand an Arbeitern, nämlich der von rund 8900 Mann, ist in den Monaten Juni und Juli 1892, der niedrigste von 2529 Mann in den Monaten Februar und März 1895 vorhanden gewesen.

Es war von vornherein einleuchtend, dafs für die Unterbringung und Verpflegung so grofser Arbeitermassen, die in der unmittelbaren Nähe des Canals nicht zur Verfügung standen, sondern aus anderen, zum Theil recht fern gelegenen Gegenden — die meisten Erdarbeiter kamen aus den östlichen Provinzen des preussischen Staats — herbeigezogen

\*) Dieser Abschnitt ist unter Benutzung der von dem früheren Vorsitzenden der Kaiserlichen Canalcommission Karl Löwe zur Eröffnungsfeier herausgegebenen Festschrift „Geschichte des Nord-Ostsee-Canals“ und des von dem derzeitigen Canalbauinspector Lütjohann in der deutschen Vierteljahrsschrift für öffentliche Gesundheitspflege veröffentlichten Aufsatzes über die Barackenanlagen beim Bau des Nord-Ostsee-Canals bearbeitet worden.

werden mußten, besondere Vorkehrungen zu treffen waren sollten die Leute nicht der Ausbeutung durch gewissenlose Cantinenwirthe, unregelmäfsigem, ungesundem Lebenswandel usw., mit einem Worte der Verwilderung und dem Elende anheimfallen und den Canalbau zu einer Plage für die durch ihn in Mitleidenschaft gezogenen Ortschaften und Gegenden und ihre Bewohner machen. Die Canalbauverwaltung entschlofs sich deshalb, die Unterbringung und die Verpflegung der Arbeiter selbst in die Hand zu nehmen. Zu dem Zweck wurden an geeigneten Punkten in möglichster Nähe der Canallinie, je nachdem nach der Art der an den verschiedenen Stellen vorzunehmenden Arbeiten gröfsere oder geringere Ansammlungen von Arbeitern zu erwarten waren, Einzelbaracken oder Barackenlager errichtet. Als gröfste zulässige Entfernung einer Baustelle von der nächsten Baracke wurden dabei 3,5 km angenommen. Bei dieser Entfernung wurde den Arbeitern das Mittagessen jedoch zur Baustelle gebracht, sodafs sie den Weg von der Baracke zur Arbeitsstelle nur zweimal am Tage, morgens und abends, zurückzulegen hatten. Die Einzelbaracken wurden nach dem in der Text-Abb. 337 dargestellten Grundrifs ausgeführt. Sie vereinigten unter einem Dache die Wohnung des Verwalters, die Kochküche und den Speisesaal mit den Schlafräumen für die Arbeiter, während bei den Barackenlagern die Wirtschaftsräume, der Speisesaal und die Wohnung des Verwalters ein Gebäude für sich in Anspruch nahmen und die Schlafräume in besonderen Gebäuden, die je 100 Mann aufzunehmen vermochten, angeordnet wurden. Daneben waren dann in je besonderen Baulichkeiten die Kohlen- und Holzlager, die Aborte usw. untergebracht. Die Text-Abb. 338 zeigt den Grundrifs einer Schlafbaracke für 100 Mann.

Die zu Wohn- und Wirtschaftszwecken bestimmten Räume wurden auf leichten gemauerten Sockeln aus Holzfachwerk mit doppelten Bretterwänden aufgebaut und mit Pappe gedeckt, nur die Küchenwände wurden an der Herdseite aus Mauerwerk aufgeführt, und bei den Barackenlagern derjenige Theil der Wirtschaftsgebäude, der, um die Wohnung des Verwalters aufzunehmen, ein zweites Stockwerk erhielt, aus einfachem Mauerfachwerk. Die Umfassungswände der Baracken erhielten, soweit sie aus Holz hergestellt wurden, aufsen eine 3 cm starke, dicht schliessende, wagerecht jalousieartig befestigte oder gespundete Bretterschalung, welche mit einem äufseren Carbolineum-Anstrich gegen Witterungseinflüsse geschützt wurde; die innere Verschalung dieser Wände wurde wie die beiderseitige Verschalung der Zwischenwände mit senkrecht angebrachten, 2,5 cm starken Brettern hergestellt, die berohrt und zur Verminderung der Feuersgefahr sowie zur Sicherung gegen Eindringen und Festsetzen von Ungeziefer mit glattem Wandputz versehen wurden. Die Putzflächen waren sämtlich geweißt. Für den Flur wurde anstatt des dem Abstoßen zu sehr ausgesetzten Wandputzes ein Leinölanstrich auf einer 2,5 cm starken gespundeten Schalung angeordnet. Unter die Fußböden wurde auf einer gehörig geebneten und gestampften Grundfläche zunächst ein 15 cm starker Lehmschlag eingebracht zum Abschlufs der mit dem Untergrunde aufsteigenden Feuchtigkeit und darüber eine 10 cm starke Kiesbettung für ein in sämtlichen Räumen verlegtes flaches Ziegelpflaster hergestellt. Auf dem Ziegelpflaster lag ein 1,5 cm starker Cement-Estrich, welcher, soweit der Fußboden der Schlafräume nicht von Betten überstellt wurde, mit einer Lattendielenung, in kleinen Abtheilungen zum Aufnehmen eingerichtet, belegt war. Die Decken waren aus 1,5 cm starken kiefernen Brettern hergestellt, die dicht gespundet an die Sparren des Pultdaches befestigt waren. Der zwischen Decken- und Dachschalung bestehende Raum blieb hohl, wie der Raum

zwischen den Schalungen der Wände. Von einer Ausfüllung dieser Hohlräume wurde abgesehen, weil von der dieselben ausfüllenden Luftschicht eine genügende isolirende Wirkung vorausgesetzt und andererseits befürchtet wurde, durch Einbringen von Ausfüllstoffen geeignete Brutstellen für Ungeziefer zu schaffen.

Die Fenster waren einfach, mit Mittelpfosten und nach außen schlagend, die Thüren der Schlafräume waren als Vierfüllungsthüren hergestellt, sie schlugen, um den an und für sich schmalen Flur nicht zu versperren, nach den Räumen hinein, während die Aufenthüren, aus rauhen, gespundeten Brettern gearbeitet, wie die Fenster nach außen schlugen, um bei Ausbruch eines Feuers ein Versperren durch Gedränge auszuschließen.

Die Heizung wurde durch eiserne Füllöfen bewirkt, die, wie aus der Text-Abb. 338 ersichtlich ist, in Nischen zwischen je zwei Schlafräumen aufgestellt und durch einen Blechmantel mit oberer Deckplatte und einem unteren und oberen durchbrochenen Ringstück umgeben waren. Der Rauch wurde durch eine ziemlich lange Rohrleitung zur möglichsten Ausnutzung der Heizkraft des Brennmaterials an der höchsten Stelle der schräg ansteigenden Decke in Verbindung mit einer Lüftungsvorrichtung durch die Decke feuersicher

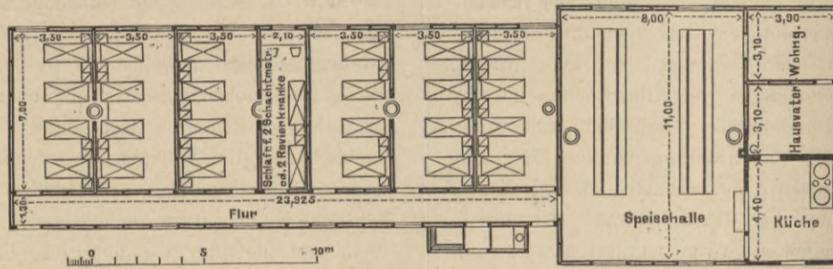


Abb. 337. Einzelbaracke für 50 Arbeiter.

Rohstoffe — wie im übrigen auch Holz, Kohlen, Petroleum, Seife und andere Wirtschaftsbedürfnisse — im großen auf Grund alljährlich abgeschlossener Lieferungsverträge bezog. Für die Zubereitung der Mahlzeiten waren allgemeine Vorschriften gegeben, die Gewicht und Menge der zu verwendenden Stoffe genau vorschrieben; erwähnt sei hierbei nur, daß die Portion von Fleisch oder Speck zum Mittagessen reichlich so groß bemessen war, wie die zur Verpflegung der deutschen Armee im Felde vorgeschriebene.

Die Kocheinrichtungen der Barackenlager bestanden aus einer zumeist von Becker u. Ulman in Berlin gelieferten Kochvorrichtung mit drei isolirten Kammern, drei emaillirten Kochkesseln von je 350 Liter Inhalt und zwei verzinnnten Bratpfannen (in die Kochkessel eingepafst), sowie einem Dampferzeuger mit allem Zubehör. Der im Dampferzeuger der Kochvorrichtung erzeugte Dampf wurde, soweit dieser nicht zum Kochen der Speisen gebraucht wurde, durch eine Rohrleitung nach der Waschküche geführt und hier zum Erhitzen des Wassers im Einweichbottich, im Waschkessel und in dem einen der beiden Wasserbottiche, die über dem Baderaume aufgestellt waren und durch eine Druckpumpe auf dem Barackenplatze gespeist wurden, verwandt. Außer der vorbezeichneten Kochvorrichtung war

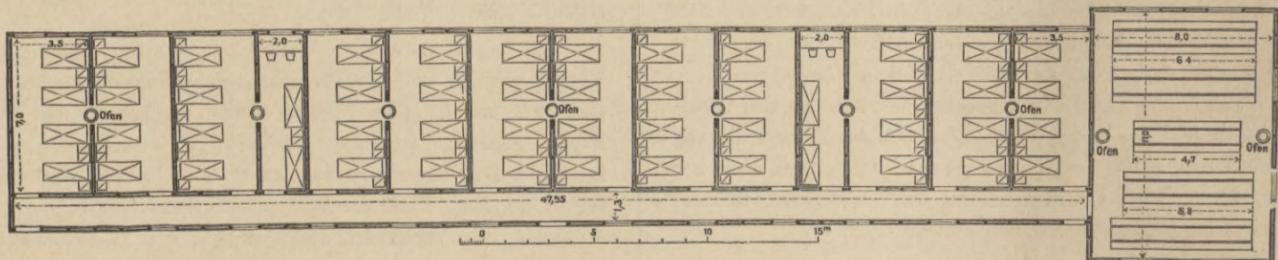


Abb. 338. Grundriss einer Schlafbaracke für 100 Mann.

über Dach geführt. Die Lüftungsvorrichtung bestand aus einem das Rauchrohr umgebenden Rohre, dessen durch einen Ringschieber absperrbare Schlitz sich nach dem zu lüftenden Raume öffneten. Im obersten Theil der Zwischenwände war ein Fach nicht ausgemauert, um so die Lüftungsvorrichtung für je zwei neben einander gelegene Räume gleichmäßig wirksam zu machen.

Zur Ausstattung der Schlafstuben gehörten eine entsprechende Anzahl eiserner Bettstellen mit Matratze, Kopfpolster aus Seegras und einer Decke (im Winter zwei Decken) aus Wolle mit Leinwandbezug, eine verschließbare Kiste und ein Schemel für jeden Mann und einige Kleiderriegel. Mit der Reinigung der Zimmer und dem Ordnen der Lagerstätten hatten die Arbeiter nichts zu thun, dies besorgten ebenso wie die Reinigung der Lampen und das Heizen im Winter besonders angestellte Wärter. Jeder Barackenbewohner war verpflichtet, die in den Zimmern angeschlagene Hausordnung zu befolgen und an den gemeinsamen Mahlzeiten (Morgenkaffee und Mittagessen) theil zu nehmen, sofern er nicht davon besonders entbunden war. Jede Barackenanlage stand unter der Leitung und Aufsicht eines Barackenverwalters, der regelmäßig auch die Verpflegung der Arbeiter zu besorgen hatte und dem das nöthige Hauspersonal unterstellt war.

Die Verpflegung in den Baracken wurde ebenfalls von der Canalverwaltung besorgt, welche die dazu erforderlichen

in der Kochküche noch ein eiserner Herd zur Herrichtung einzelner besonders bestellter Speisen aufgestellt.

In der Waschküche wurde nicht nur die für den Barackenbetrieb erforderliche Wäsche gereinigt, sondern auch die Leibwäsche der Arbeiter, und dabei wurde die gesamte Wäsche in einer von Schäffer u. Walker in Berlin gelieferten Dämpfungskammer von etwaigen Krankheitserregern befreit. In diesen Durchdämpfungskammern konnten auch die Kleidungsstücke der Arbeiter von Ansteckungsstoffen gereinigt werden. Um die Reinlichkeit unter den Arbeitern zu befördern, war bei jedem Barackenlager eine mit vier Regenbädern ausgerüstete Badeeinrichtung angelegt worden. Das erforderliche Wasser gelangte aus den beiden oben erwähnten, über dem Baderaume aufgestellten Bottichen, von denen der eine zur Erhitzung des Wassers mit der Dampfleitung in Verbindung stand, in ein im Baderaume angebrachtes Mischgefäß, das an die beiden Bottiche für warmes und für kaltes Wasser angeschlossen war; ein aus dem Mischgefäße hervorstehendes Thermometer ließ die Temperatur des Wassers in demselben erkennen. Von dem Mischgefäße wurde das Wasser den vier Abtheilungen des Regenbades zugeführt.

Für Wohnung, einschließlic Heizung und Beleuchtung, Morgenkaffee —  $\frac{1}{2}$  Liter gesüßten und mit Milch gemischten Kaffees — und Mittagessen hatte jeder Arbeiter für den Tag 0,65  $\mathcal{M}$  zu entrichten, ein Betrag, der ihm vom Arbeitgeber bei der Lohnzahlung in Abrechnung gebracht und an

die Canalcommission abgeführt wurde. Sich die nöthigen Stoffe für die übrigen Mahlzeiten zu verschaffen, hatte der Arbeiter in den Cantinen der Baracken Gelegenheit, wo er Bier, Branntwein, Schwarzbrot und Weißbrot, Wurst, Speck, Heringe usw., außerdem auch Tabak und Cigarren zu billigem Preise kaufen konnte. Den Barackenverwaltern war gestattet, auf ihre Gefahr Kleidungsstücke und allerlei Kurzwaren, wie sie der Arbeiter braucht, feilzuhalten. Die von der Canalcommission festgesetzten Preise aller in den Cantinen feilgehaltenen Verkaufsgegenstände waren auf großen Tafeln an den Verkaufsstellen angeschlagen.

Von der Regel, daß die Canalverwaltung selbst die Verpflegung der Arbeiter übernahm und ihnen die eben geschilderte Gelegenheit, ihre kleinen Einkäufe in den Baracken selbst zu machen, bot, wurden einige Ausnahmen gemacht, und zwar zunächst in den sogenannten Handwerkerbaracken, d. h. den etwas besser ausgestatteten Baracken, die für die Maurer, Zimmerer, Schlosser usw. an denjenigen Stellen hergestellt wurden, wo größere Kunstbauten die Verwendung von Facharbeitern forderten und diese in den benachbarten Ortschaften kein Unterkommen fanden: bei den Schleusenbauten in Brunsbüttel und

Holtenuau und bei der Grünenthaler Hochbrücke. In diesen Baracken wurde die Verpflegung besonderen Wirthen übertragen, die auf ihre Rechnung das Geschäft betrieben, jedoch unter fortgesetzter Beaufsichtigung durch die Bauverwaltung. Grund zu dieser Maßregel war, daß jene Facharbeiter höhere Ansprüche an die Verpflegung stellten und mannigfache Bedürfnisse hatten, als der einfache Erdarbeiter, denen nur unter großen Umständen und Erschwerungen des darauf nicht eingerichteten Geschäftsganges der Barackenverwaltung hätte entsprochen werden können. Auch in einer nur für einfache Erdarbeiter berechneten Barackenanlage wurde die Verpflegung von der Canalbauverwaltung aus der Hand gegeben, und zwar mit gutem Erfolge. Es geschah das bei dem großen Barackenlager in Grünenthal, wo auf dringendes Ersuchen des Unternehmers eine Wirthin eingesetzt wurde, die nicht nur die Fürsorge für die Arbeiter übernahm, sondern auch den zu Zeiten recht zahlreichen höheren und unteren Beamten der Bauverwaltung wie des Unternehmers Gelegenheit zur Verpflegung bot, und deren Wirthschaft auch von den die Arbeitsplätze am Canal besuchenden Fremden, die namentlich zur Zeit des Brückenbaues besonders zahlreich nach Grünenthal strömten, gern aufgesucht wurde.

Die Kosten der Barackenanlagen haben im Durchschnitt betragen:

für eine Baracke für 100 Arbeiter rund .	14000 M
„ ein Verwaltungsgebäude rund . . .	20000 „
„ „ Wirtschaftsgebäude rund . . .	1800 „
„ „ Abortgebäude rund . . . . .	1000 „
„ „ Thorwärterhäuschen . . . . .	300 „
„ eine Asch- und Müllgrube . . . . .	250 „

Ueber die Maßnahmen für das Unterkommen und die Verpflegung der Arbeiter versäumte die Canalverwaltung

nicht, durch thunlichste Aufrechterhaltung der Grundsätze der vorbeugenden Gesundheitspflege dem Entstehen von Krankheiten entgegen zu treten. In diesem Sinne wirkte ein höherer Marinearzt, der der Canalcommission als ärztlicher Beirath sich zur Verfügung stellte, indem er regelmäßig jedes Vierteljahr, außerdem, wenn das Bedürfnis sich herausstellte, alle Baracken und Arbeitsstätten am Canal eingehend untersuchte und durch Erinnerungen und Belehrungen dafür sorgte, daß von jenen alles ferngehalten wurde, was die Gesundheit und das körperliche Wohlbefinden der Canalarbeiter zu beeinträchtigen geeignet gewesen wäre.

Was die Fürsorge für erkrankte Arbeiter und ihre Pflege angeht, so ist zunächst zu erwähnen, daß eine Krankenkasse bestand, der jeder Arbeiter, sofern er nicht der zugelassenen Krankenkasse seines Arbeitgebers angehörte, beitreten mußte. Ferner war dafür gesorgt, daß die für die Krankenkasse angestellten Aerzte an bestimmten Tagen der Woche Sprechstunden in den Baracken ihres Bezirks abhielten; in jeder war ein Zimmer für den Arzt vorhanden

und mit den nöthigsten Verbandstoffen und den einfachsten Arzneimitteln ausgestattet, wo die sich krank Meldenden untersucht, leichter Erkrankte, die in den Barackenstuben der Baracken verblieben, behandelt und sonst ärztlicher Rath, wo er gefordert wurde, ertheilt werden konnte.

Schwerer erkrankte und verletzte Leute wurden in Krankenhäusern untergebracht

und verpflegt. Zu diesem Zweck schloß die Canalbauverwaltung mit dem Vorstände der Ortskrankenkasse in Brunsbüttel, dem Magistrat von Rendsburg und der Verwaltung der akademischen Heilanstalten in Kiel Verträge ab, wodurch diese sich verpflichteten, die auf den benachbarten Canalstrecken beschäftigten Arbeiter gegen eine bestimmte Entschädigung in ihre Krankenanstalten aufzunehmen und denselben Verpflegung und ärztliche Behandlung zu theil werden zu lassen. Da diesen Anstalten hierdurch Leistungen zugemuthet wurden, auf die sie räumlich nicht eingerichtet waren, leistete ihnen die Canalbauverwaltung nicht unerhebliche baare Zuschüsse zur Erweiterung ihrer Pflegestätten. Doch damit war dem Bedürfnis nicht genügt, da Brunsbüttel zu weit von Rendsburg entfernt ist, um nach einem dieser Orte von allen Punkten der dazwischen liegenden Strecke die Erkrankten oder Verletzten schaffen zu können. Deshalb legte die Canalbauverwaltung noch zwei Lazarethe auf eigene Kosten an, nämlich bei Burg, nahe km 14, und bei Hanerau, nahe km 32. Jedes der beiden Lazarethe hatte (Text-Abb. 339 und 340) in drei größeren und einem kleineren Zimmer Raum für 20 Kranke, die Anlage zu Hanerau wurde später auf das doppelte an Krankenzimmern erweitert. Die Anstalten standen unter der Leitung eines an dem betreffenden Orte ansässigen Arztes; die Pflege und die Beköstigung der Kranken lag in den Händen der Lazarethverwalter und der ihnen beigegebenen Krankenpfleger.

Als im Jahre 1892 die Cholera in Deutschland sich zeigte und mit besonderer Heftigkeit in dem nahe Brunsbüttel ge-

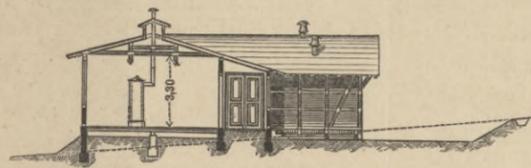


Abb. 339. Querschnitt ab.

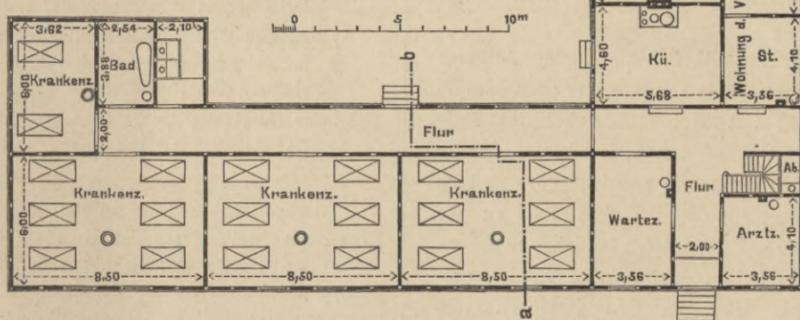


Abb. 340. Lazarethanlage bei Burg. Erdgeschoss.



Bezirke der Bauämter II und III waren in je drei, der Bezirk des Bauamtes IV in zwei Abtheilungen eingetheilt. Den Bauämtern stand je ein preussischer Wasserbauinspector oder Wasserbaubeamter eines anderen deutschen Bundesstaates von entsprechendem Range, den Abtheilungen je ein preussischer Regierungsbaumeister oder ein im gleichen Range stehender Beamter eines anderen Bundesstaates vor. Bei der Canalcommission sowohl, als bei den Bauämtern und Bauabtheilungen war außerdem, dem jeweiligen Bedürfnis entsprechend, eine gröfsere Zahl von technischen Hilfsarbeitern

beschäftigt: Bauinspectoren, Regierungsbaumeister, Bauführer und Ingenieure.

Zur Ueberwachung des Betriebes der Arbeiterbaracken wurden Barackeninspectionen eingerichtet, zu deren Vorständen ehemalige Officiere der Armee berufen wurden. Zu der Zeit, als die Arbeiterzahl am gröfsten war, bestanden sechs Barackeninspectionen.

Die Beamten, die im Verlauf der Bauausführung der Canalcommission unterstellt waren, sind in der nachstehenden Tabelle in alphabetischer Reihenfolge aufgeführt.

Name	Amts-Charakter	Zeit und Art der Beschäftigung			
		von	bis	wo	in welcher Stellung
a) Technische Beamte.					
Allendorf	Königl. Preufs. Wasserbauinspector	1. 1. 87	1. 6. 89	Bauamt III	Bauamtsvorsteher.
Atzpodien	Königl. Preufs. Reg.-Baumeister	15. 4. 89	31. 12. 92	Bauabtheilung 3	Hilfsarbeiter.
Blenkinsop	desgl.	1. 2. 89	Ende	Canal-Commission	desgl.
Börner	Königl. Sächs. Reg.-Bauführer	1. 4. 91	1. 9. 93	Bauamt V	desgl.
Brandt	Königl. Preufs. Wasserbauinspector	1. 1. 87	Ende	Bauabtheilung 2	Abtheilungsvorsteher, dann zugl. Vorsteher des Bauamtes II.
		15. 1. 95	Ende		
Brennecke	Königl. Preufs. Reg.-Baumeister	6. 11. 86	1. 1. 89	Bauabtheilung 8	Abtheilungsvorsteher.
		1. 1. 89	30. 6. 91	Canal-Commission	Vorsteher des techn. Bureaus.
Busse	desgl.	16. 8. 89	1. 10. 90	Bauamt I	Hilfsarbeiter.
Dieckmann	desgl.	20. 4. 90	31. 10. 94	Canal-Commission	desgl.
Dohrmann	desgl.	11. 10. 86	Ende	Bauabtheilung 3	zuerst Hilfsarbeiter, dann Abtheilungsvorsteher.
Düsing	desgl.	1. 1. 87	1. 4. 90	Bauabtheilung 6	Abtheilungsvorsteher.
Frontzen	desgl.	2. 12. 86	1. 4. 88	Canal-Commission	Hilfsarbeiter.
		1. 4. 88	Ende	Bauamt V	
Geifse	desgl.	4. 7. 90	Ende	Bauamt II u. III u. Canal-Comm.	desgl.
Gerhards	Ingenieur	28. 5. 90	Ende	Canal-Commission	desgl.
Gerstenberg	Königl. Preufs. Reg.-Bauführer	9. 10. 94	Ende	Bauamt V	desgl.
Gilbert	Königl. Preufs. Reg.-Baumeister	15. 4. 89	Ende	Bauabth. 1 und Bauamt I	desgl.
Goebel	Ingenieur	1. 5. 88	Ende	Bauabtheilung 8	desgl.
Gölkel	Königl. Württemb. Reg.-Baumeister	4. 1. 87	31. 12. 92	Canal-Comm. u. Bauabth. 2	desgl.
Görz	Königl. Preufs. Baurath	1. 6. 89	Ende	Bauamt III	Bauamtsvorsteher.
Cl. Greve	Königl. Preufs. Eisenbahn-Bau- u. Betriebsinspector	1. 9. 89	1. 7. 94	Canal-Commission	Hilfsarbeiter.
J. Greve	Königl. Preufs. Reg.-Baumeister	1. 4. 92	Ende	Bauabtheilung 8	desgl.
Gröbler	desgl.	1. 4. 93	9. 4. 95	Bauabtheilung 6	desgl.
Hartmann	Königl. Bayer. Bauamts-Assessor	15. 7. 87	Ende	Bauabtheilung 4 und 8	Abtheilungsvorsteher.
Herrmann	Königl. Preufs. Reg.-Baumeister	26. 7. 89	30. 9. 94	Bauamt III	Hilfsarbeiter.
v. Irmingier	Ingenieur	4. 11. 86	Ende	Canal-Comm. u. Bauamt V	desgl.
Kayser	desgl.	2. 9. 89	Ende	Canal-Commission	desgl.
Keller	Königl. Preufs. Wasserbauinspector	11. 10. 86	1. 10. 89	Bauamt I	Bauamtsvorsteher.
Kieseritzky	Königl. Preufs. Reg.-Baumeister	4. 4. 88	Ende	Canal-Comm. u. Bauamt III	Hilfsarbeiter.
Kohlenberg	desgl.	1. 2. 89	Ende	Bauabth. 3, Canal-Commission und Bauamt III	desgl.
Kozlowski	Königl. Preufs. Reg.-Bauführer	1. 3. 90	21. 9. 92	Bauamt III	desgl.
Krey	Ingenieur	26. 8. 89	Ende	Bauabtheilung 5	desgl.
Kranz	Königl. Preufs. Reg.-Bauführer	1. 5. 92	31. 12. 93	Bauabtheilung 2	desgl.
Kuntze	Königl. Preufs. Baurath	16. 10. 86	Ende	Bauamt IV	Bauamtsvorsteher.
v. Liederscron	Königl. Bayer. Bauamts-Assessor	14. 4. 87	16. 4. 89	Bauabtheilung 5	Abtheilungsvorsteher.
Lüdecke	Ingenieur	18. 12. 93	Ende	Bauabtheilung 3	Hilfsarbeiter.
Lühning	Königl. Preufs. Reg.-Baumeister	1. 1. 89	31. 3. 94	Bauamt IV u. Canal-Comm.	desgl.
Lütjohann	desgl.	1. 2. 87	Ende	Canal-Comm. u. Bauamt V	desgl.
Mehlfis	desgl.	1. 12. 86	1. 7. 89	Bauamt III	desgl.
Meyer	Königl. Preufs. Reg.-Bauführer	1. 10. 93	Ende	Bauamt V	desgl.
Möller	Königl. Preufs. Reg.-Baumeister	1. 12. 86	31. 2. 92	Bauabth. 6 u. Canal-Comm.	desgl.
Nestle	Königl. Württemb. Abtheil.-Ingenieur	17. 1. 87	Ende	Bauabtheilung 1	desgl.
Niese	Königl. Preufs. Reg.-Baumeister	22. 10. 86	Ende	Bauamt I	desgl.
Nizze	desgl.	8. 4. 88	Ende	Bauabtheilung 4	Hilfsarbeiter, später Abtheilungsvorsteher.
Papke	Königl. Preufs. Wasserbauinspector	15. 4. 89	1. 4. 90	Bauabtheilung 4	Abtheilungsvorsteher.
		1. 4. 90	Ende	Bauabtheilung 6	
Réer	desgl.	14. 12. 86	Ende	Bauamt IV	Hilfsarbeiter.
Rehfeld	Ingenieur	1. 8. 92	Ende	Bauabtheilung 3	desgl.
Reverdy	Königl. Bayerischer Regierungs- u. Kreisbaurath	16. 4. 87	15. 1. 95	Bauamt II	Bauamtsvorsteher.
Rollmann	Königl. Preufs. Reg.-Bauführer	1. 12. 89	31. 7. 92	Bauamt III	Hilfsarbeiter.
Rothe	Königl. Preufs. Reg.-Baumeister	14. 10. 86	Ende	Bauamt I	desgl.
Ruprecht	desgl.	1. 4. 88	1. 1. 90	Bauamt I	desgl.
Schoelhaase	desgl.	1. 1. 87	15. 2. 95	Bauamt II	desgl.
Scholer	Königl. Preufs. Wasserbauinspector	10. 12. 86	1. 4. 88	Canal-Commission	Hilfsarbeiter.
		1. 4. 88	Ende	Bauabtheilung 7	Abtheilungsvorsteher.
Schüler	Königl. Preufs. Reg.-Baumeister	1. 4. 87	1. 5. 91	Canal-Commission	Hilfsarbeiter.
H. W. Schultz	desgl.	11. 4. 89	Ende	Canal-Comm. u. Bauamt V	desgl.
L. Schulze	Königl. Preufs. Wasserbauinspector	11. 10. 86	1. 10. 89	Bauabtheilung 1	Abtheilungsvorsteher.
		1. 10. 89	Ende	Bauamt I	Bauamtsvorsteher.
Seeliger	desgl.	1. 10. 92	Ende	Canal-Commission	Hilfsarbeiter.
Senger	Königl. Preufs. Reg.-Baumeister	9. 12. 86	1. 4. 88	Bauabtheilung 4	desgl.
Schweitzer	desgl.	1. 3. 89	31. 5. 91	Canal-Commission	desgl.
Siebert	desgl.	1. 1. 87	1. 4. 88	Bauabtheilung 7	Abtheilungsvorsteher.
Sommer	Ingenieur	29. 11. 89	Ende	Bauabtheilung 5	Hilfsarbeiter.
Specht	Königl. Bayer. Bauamts-Assessor	1. 5. 89	Ende	Bauabtheilung 5	Abtheilungsvorsteher.
Stecher	Königl. Sächs. Bauinspector	1. 10. 89	Ende	Bauabtheilung 1	desgl.
Stolze	Königl. Preufs. Reg.-Baumeister	23. 4. 88	1. 1. 89	Bauabtheilung 5	Hilfsarbeiter.
		1. 1. 89	15. 4. 89	Bauabtheilung 4	Abtheilungsvorsteher.

Name	Amts-Charakter	Zeit und Art der Beschäftigung			
		von	bis	wo	in welcher Stellung
Strenge	Ingenieur	15. 10. 86	Ende	Bauabtheilung 1	Hülfсарbeiter.
Symphcr	Königl. Preufs. Wasserbauinspector	11. 10. 86	1. 4. 92	Bauabtheilung 9	Abtheilungsvorsteher.
Tolkmitt	desgl.	1. 4. 92	15. 2. 95	Bauamt V	Bauamtsvorsteher.
		16. 10. 86	1. 10. 88	Canal-Commission	Vorsteher des Hauptbauamtes, [dann Mitglied.]
Tincauzer	Königl. Preufs. Reg.-Baumeister	1. 7. 88	15. 2. 95	Bauamt V	Hülfсарbeiter.
		15. 2. 95	Ende		Vorsteher.
Werneburg	desgl.	3. 1. 87	1. 4. 89	Bauabtheilung 3	Abtheilungsvorsteher.
Wirtz	desgl.	22. 8. 89	Ende	Canal-Commission	Hülfсарbeiter.
Ziegler	desgl.	1. 4. 90	Ende	Bauamt I und Canal-Comm.	desgl.
Zimny	Ingenieur	8. 5. 91	Ende	Bauamt I	desgl.
b) Verwaltungsbeamte.					
v. Bagensky	Major a. D.	1. 5. 88	Ende	Burg	Barackeninspector.
Feldmann	Königl. Preufs. Gerichts-Assessor	1. 5. 95	Ende	Canal-Commission	Hülfсарbeiter.
Dr. Gutschow	Oberstabsarzt I. Cl.	1. 5. 89	Ende	desgl.	ärztlicher Beirath.
Grell	Major a. D.	1. 5. 89	1. 10. 92	Rendsburg	Barackeninspector.
Grützmacher	Oberstleutnant a. D.	1. 10. 88	Ende	Kiel	desgl.
Henkel	Hauptmann d. L.	1. 1. 89	Ende	Brunsbüttel	desgl.
v. Preen	Major a. D.	14. 10. 88	1. 10. 92	Hanerau	desgl.
Roehr	Major a. D.	1. 9. 89	1. 10. 92	Rendsburg	desgl.
Starke	Königl. Preufs. Gerichts-Assessor	1. 3. 89	1. 5. 95	Canal-Commission	Hülfсарbeiter.
c) Bureaubeamte.					
Hagge	Eisenbahn-Secretär	10. 11. 90	Ende	Canal-Commission	Calculator.
v. Hartung	Leutnant a. D.	24. 3. 88	Ende	desgl.	Barackenverwaltung.
Jahn	Gerichts-Secretär	2. 9. 88	Ende	desgl.	Calculator.
Lackner	Polizei-Secretär	3. 10. 86	Ende	desgl.	Bureau-Vorsteher.
Schwandt	Eisenbahn-Secretär	20. 11. 89	Ende	desgl.	Calculatur-Vorsteher.

Die für die Ausführung des Kaiser Wilhelm-Canals nothwendigen Arbeiten und Lieferungen wurden im allgemeinen öffentlich verdingen, nur in Ausnahmefällen sind Leistungen unter der Hand oder im Wege des beschränkten Verdingungsverfahrens vergeben worden. Neben den kleineren, zumeist in der Provinz Schleswig-Holstein ansässigen Unternehmern, denen die Herstellung der Baracken, der Hochbauten, der kleineren Schiffahrtsschleusen, der Entwässerungs- und Stauanlagen und anderer kleinerer Bauwerke übertragen wurde, sind von den folgenden Unternehmern größere Arbeiten und Lieferungen übernommen worden:

## a) Erdarbeiten:

C. Vering-Hannover.  
A. Höschele-Halle a. d. S.  
M. Sager-München.  
Frühling, Polensky u. Zöllner-Rendsburg.  
Ph. Holzmann u. Co.-Frankfurt a. M.  
v. Kintzel u. Lauser-Cassel.  
Degen u. Wiegand-Kiel.  
Förster, Cordes u. Sönderop-Kiel.

## b) Maurerarbeiten, Fundirungen usw.

C. Vering-Hannover: Schleuse in Brunsbüttel, Ufermauern und Molen.  
M. Sager-München: Unterbau der Hochbrücke bei Grüenthal.  
R. Schneider-Berlin: Schleuse in Rendsburg und Hochbrücke bei Levensau.  
Ph. Holzmann u. Co.-Frankfurt: Drehbrücken bei Rendsburg.  
Förster, Cordes u. Sönderop-Kiel: Schleuse in Holtenau.  
Sohst, Banse u. Gebr. Ihms-Kiel: Ufermauern in Holtenau. Pfahlbündel.  
Maschinenbau-Actiengesellschaft Nürnberg, Filiale Gustavsburg: Drehbrücke bei Taterpfahl.  
J. P. A. Hintzpete-Hamburg: Schleusenleitwerke.

## c) Lieferung von Eisenconstructions, Maschinen und Schiffen:

Maschinenbau-Actiengesellschaft Nürnberg, Filiale Gustavsburg: Hochbrücke bei Grüenthal und Eisenbahndrehbrücke bei Rendsburg (Obereider).  
Actiengesellschaft Harkort-Duisburg a. Rh.: Eisenbahn- und Strafsen-Drehbrücken bei Rendsburg (Canal) und in Taterpfahl. Schleusenthore bei Brunsbüttel und Holtenau.  
Actien-Verein „Gutehoffnungshütte“-Oberhausen: Hochbrücke bei Levensau. Schleusenthore für Rendsburg.  
Maschinenfabrik Haniel u. Lueg-Düsseldorf: Hydraulische Bewegungsvorrichtungen der Drehbrücken.  
Maschinenfabrik C. Hoppe-Berlin: Hydraulische Bewegungsvorrichtungen für die Schleusen in Brunsbüttel und Holtenau.  
Actien-Gesellschaft Helios-Köln-Ehrenfeld: Beleuchtungsanlagen.  
Actien-Gesellschaft Jüdel u. Co.-Braunschweig: Signal- und Stellwerkanlagen.  
Lübecker Maschinenfabrik Lübeck: Bagger.  
Schiffswerft F. Schichau-Elbing: Schlepp- und Bereisungsdampfer.  
Schiffswerft H. Mertens-Danzig: Fährprähme und Prahmdrehbrücke bei Holtenau.  
Schiffs- und Maschinenbau-Actiengesellschaft Germania-Berlin und Kiel: Schwimmbagger.  
BremerSchiffsbaugesellschaft-Vegesack: Dampfbaggerprähme.  
Schiffs- und Maschinenbau-Actiengesellschaft vorm. Gebr. Schultz-Mainz: Bagger.  
Howaldtswerke-Dietrichsdorf bei Kiel: Dockthore für die Schleusen in Brunsbüttel und Holtenau. Schleppdampfer.  
R. Holtz-Harburg: Schleppdampfer und Dampfbarkassen.

## d) Lieferung von Baumaterialien:

Alsensche Portlandcement-Fabriken-Hamburg: Cement.  
Portland-Cement-Fabrik Hemmoor-Hemmoor a. d. O.: Cement.  
Karl Bues-Hamburg: Klinker.

K. Festge-Erfurt und Brunsbüttel: Ziegelsteine.  
 Ph. Holzmann u. Co.-Frankfurt a. M. und Rosenkranz:  
 Ziegelsteine.  
 Loeck u. Mohr-Kiel: Klinker.  
 A. Klüver-Rendsburg: Kies und Steine.

#### Schlufsbemerkungen.

Der Canal wurde nach achtjähriger Bauzeit am 20. und 21. Juni 1895 durch Seine Majestät den Kaiser feierlich eröffnet und damit dem Verkehr übergeben. Er hatte aber derzeit noch nicht überall die volle planmäßige Breite und Tiefe. Namentlich an einer Stelle in dem tiefen Einschnitt bei km 29, wo im Sommer und Herbst 1894 die S. 44/45 Abth. I beschriebene große Rutschung eingetreten war, fehlte an dem wasserhaltenden Theil des planmäßigen Querschnitts noch recht viel, und deshalb mußten dem Schiffsverkehr in den ersten Monaten nach der Eröffnung noch gewisse Beschränkungen auferlegt werden. Die Beseitigung der Mängel wurde indes so gefördert, daß schon im August 1895 allen Schiffen bis zu dem nach der Betriebsordnung zulässigen größten Tiefgang von 8 m die Durchfahrt gestattet werden konnte. Am 20. September 1895 machte die aus den schwersten Schiffen der deutschen Kriegsmarine — der sogenannten Brandenburgklasse — bestehende I. Division des Manöver-Geschwaders ihre erste Fahrt durch den Canal, und indem diese Durchfahrt bewerkstelligt wurde, ohne daß dabei irgend eine Schwierigkeit hervortrat, lieferte sie den Beweis, daß der Canal nunmehr als vollendet angesehen werden konnte.

Nach den inzwischen veröffentlichten Mittheilungen aus den Verwaltungsberichten des zur Leitung des Canalbetriebes eingesetzten Kaiserlichen Canalamtes ist der bauliche Zustand des Canals auch später jederzeit ein durchaus befriedigender gewesen. Abgesehen von kleineren Verbesserungen und Vervollständigungen, die sich nach den beim Betriebe gewonnenen Erfahrungen als nöthig erwiesen haben, sind größere Aufwendungen an Arbeit und Kosten nur aus zwei Anlässen erforderlich geworden: für die Erhaltung der planmäßigen Tiefe im Vorhafen bei den Brunsbütteler Schleusen und für die Entfernung von Steinen aus den unter Wasser liegenden Canalböschungen. Der unter dem Einfluß der Gezeitenströmungen der Elbe stehende Vorhafen bei Brunsbüttel wird täglich zweimal von schlackhaltigem Fluthwasser angefüllt und unterliegt infolge dessen einer so starken Verschlickung, daß zur Erhaltung der planmäßigen Tiefe die dauernde Arbeit eines Baggers sich als notwendig erwiesen hat. Bei der Aufstellung des Bauentwurfs für den Canal war angenommen worden, daß die durch das Oeffnen der Schleusenthore zur Zeit der Ebbe entstehende Strömung den Erfolg haben werde, einen großen Theil des im Vorhafen niederfallenden Schlicks in die Elbe abzuführen. Diese Spülwirkung ist aber in dem angenommenen Maße nicht eingetreten, großentheils wohl infolge des Umstandes, daß die Schleusen sehr oft im Interesse der Schifffahrt geschlossen gehalten werden müssen, entweder um den Strom zu vermeiden, der

zur Zeit der Entwässerung durch die Schleusen im Canal entsteht, oder um einen höheren Wasserstand im Canal zu halten. Das Herausholen von Steinen aus den Unterwasserböschungen des Canals erwies sich als notwendig, weil Schiffe bei gelegentlicher Berührung der Böschungen wiederholt auf Steine gerathen waren und dadurch Schaden erlitten hatten. Die für die Schifffahrt gefährlichen Steine lagen in oder dicht unter den Böschungsfächen, waren also ganz oder doch zum weitaus größten Theil in Erde eingebettet, und das Auffinden und Herausholen war daher eine ebenso mühsame als zeitraubende Arbeit. Sie wurde bewerkstelligt mit Hilfe von Tauchern, die überall da, wo das Canalbett aus steinhaltigem Boden besteht, die Böschungen zwischen dem Unterwasserbankett und der Sohle in ihrer ganzen Breite nach Steinen absuchten. Der gute Erfolg dieser Nachsuchungen zeigte sich darin, daß im Betriebsjahr 1897/98 von 5030 Seedampfern, die durchgefahren sind, nur einer — S. M. S. „Deutschland“ — durch Aufstoßen auf einen Stein beschädigt worden ist, wogegen im Jahre vorher von 2848 Seedampfern noch vier durch solche Vorkommnisse leck geworden waren.

In betreff der Ausweichstellen haben die beim Betriebe gemachten Erfahrungen ergeben, daß ihre Länge — die einschließlich der Uebergänge 450 m beträgt — den Verkehrsbedürfnissen nicht genügt. Von den vielen Schleppzügen, die nach Vorschrift der Betriebsordnung während der Dunkelheit festliegen müssen, werden die Ausweichen so in Anspruch genommen, daß mehrfach für Dampfer kein Platz vorhanden war. Die Betriebsverwaltung wird daher eine angemessene Verlängerung nach und nach herbeiführen.

Verkehrsunterbrechungen durch Eis, die früher vielfach befürchtet und bei den Vorverhandlungen über den Canalbau namentlich von Gegnern des Baues sehr betont wurden, sind bisher nicht eingetreten. Selbst in dem harten Winter von 1897 gelang es, den Canal mit Hilfe der Eisbrecher offen zu halten, sodaß Dampfschiffe jederzeit durchfahren konnten. Nur für den Fährverkehr erwachsen während der Eiszeit große Schwierigkeiten und vielfache Störungen. Das fortwährend aufgebrochene und in Bewegung gehaltene Eis war schon an sich der Fortbewegung der Fährprähme sehr hinderlich, die größten Schwierigkeiten aber entstanden daraus, daß die Eisschollen von den durchfahrenden Schiffen in die Fährbuchten geschoben wurden, sich dort auf den Rampen festsetzten und so für das Anlanden der Prähme ein schwer zu beseitigendes Hinderniß bildeten. Durch gewisse Aenderungen in der Bauart der Fährprähme, wie auch der Fährbuchten und Rampen ist bei den drei Fahren, die den stärksten Verkehr haben, der Versuch gemacht worden, den erwähnten Schwierigkeiten nach Möglichkeit abzuwehren; mit welchem Erfolge, hat aber während der beiden letzten fast ganz eisfreien Winter noch nicht festgestellt werden können.

In den Verwaltungsberichten des Canalamtes wird der bauliche Zustand der Canalböschungen, der Brücken, Schleusen und sonstigen Bauten als durchaus befriedigend bezeichnet. Insbesondere wird hervorgehoben, daß die Vorrichtungen zur

Z e i t		G e s a m t v e r k e h r						Gesamt-Einnahmen	Ausgaben für Unterhaltung und Betrieb
		Dampfschiffe		Segelschiffe		Schiffe zusammen			
vom	bis	Anzahl	Register-tonnen (Reingew.)	Anzahl	Register-tonnen (Reingew.)	Anzahl	Register-tonnen (Reingew.)	ℳ	ℳ
1. Juli 1895	31. März 1896	5 258	843 577	6 388	261 559	11 646	1 105 136	667 702,40	?
1. April 1896	31. März 1897	8 287	1 407 435	11 673	441 023	19 960	1 848 458	975 105,20	2 074 792,74
1. April 1897	31. März 1898	9 396	1 927 946	13 712	541 849	23 108	2 469 795	1 300 018,86	2 278 283,85
1. April 1898	31. März 1899	11 005	2 467 839	14 811	650 001	25 816	3 117 840	1 588 859,90	?

Bewegung der Schleusenthore und Drehbrücken jederzeit allen Erwartungen entsprochen haben, sowie dafs auch die elektrische Beleuchtung des Canals sich vorzüglich bewährt und allseitige Anerkennung gefunden hat.

Im Betriebsjahr 1897/98 betrug: die mittlere Dauer der Durchfahrt für Dampfer 8 Stunden 36 Minuten, für Schleppzüge 24 Stunden 35 Minuten; die mittlere Dauer der Abfertigung in den Schleusen in Holtenau 8,8 Minuten, in Brunsbüttel 17,1 Minuten, die mittlere Fahrgeschwindigkeit für Dampfer bis zu 5 m Tiefgang 13,1 km, für gröfsere Dampfer 11,1 km in der Stunde.

Ueber die seitherige Entwicklung des Verkehrs auf dem Canal und der Verkehrs-Einnahmen, sowie über die für die Unterhaltung und den Betrieb erwachsenen Ausgaben giebt die vorstehende Tabelle eine übersichtliche Darstellung.

Die Zahl der durchgefahrenen Schiffe, ihr Tonnengehalt und die Canaleinnahmen haben danach von Jahr zu Jahr beträchtlich zugenommen. Wenn auch bisher die Ausgaben für Unterhaltung und Betrieb noch nicht durch die Einnahmen gedeckt werden, so ist doch bei dem stetig zunehmenden Verkehr mit Sicherheit darauf zu rechnen, dafs es in nicht allzu ferner Zeit gelingen wird, das Gleichgewicht zwischen Einnahmen und Ausgaben herzustellen.

In betreff der Baukosten des Canals läfst sich jetzt schon mit Sicherheit übersehen, dafs der Kostenanschlag nicht überschritten werden wird. Nach dem Kassenabschluss vom 1. October 1898 haben die Gesamtausgaben nach Abzug der anschlagsmäfsigen Einnahmen betragen 154 515 527,95 *M*

Entschädigungsansprüche  
waren derzeit noch er-  
hoben zum Betrage von 783 181,29 *M*

An Einnahmen aus dem  
Verkauf entbehrllicher  
Grundstücke und Mate-  
rialien waren noch zu  
erwarten . . . . . 202 793,60 *M*

Nach Abzug dieser Einnahmen werden  
also aus dem Baufonds höchstens noch  
zu zahlen sein . . . . . 580 387,69 *M*

Wird dieser Betrag den Ausgaben nach  
dem Abschluss vom 1. October 1898  
hinzugerechnet, so ergiebt das eine  
Summe von . . . . . 155 095 915,64 *M*

Es stehen also von der auf 156 Millionen veranschlagten  
Bausumme noch immer rund 900 000 *M* für etwaige Ergän-  
zungen oder Verbesserungen von Canalanlagen zur Verfügung.





S. 2021

S. 61



50

Handwritten marks and smudges in the top left corner.

Handwritten marks and smudges in the upper left quadrant.

Handwritten marks and smudges in the lower left quadrant.

Handwritten marks and smudges in the bottom left corner.



WYDZIAŁY POLITECHNICZNE

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



IV-301006

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



IV-300991

Kdn., Czapskich 4 — 678. 1. XII.

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000303052

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000302793