Abteilung II — Seeschiffahrt

Mitteilung 2

Seeschleusen und Trockendocke. — Berechnung sowie neue Bauentwürfe und -verfahren. — Tore und ihre Beanspruchung. — Angenommene Lösungen, insbesondere für Tore, die dem Seegang ausgesetzt sind.

Von Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Arnold Agatz, Bremen,
Dr.-Ing. Erich Lackner, beratender Ingenieur, Bremen.

Zusammenfassung:

Im vorstehenden Bericht wurden die grundsätzlichen Erfahrungen in der konstruktiven Gesaltung und im Betrieb von Schleusen und Trockendocken mit ihren Torverschlüssen auf Grund der in den letzten 20 Jahren errichteten Bauwerke zusammengestellt. Besonders wurde auf das Problem des Füllens und Leerens von Schleusen und Docken eingegangen.

A. Trockendocke.

1. Ziel der konstruktiven Gestaltung der Dockquerschnitte der letzten neuen Großdocke für den Neubau von Schiffen und für den Reparaturbetrieb war es, mit einer möglichst geringen Sohlenstärke auszukommen, was auf folgende Weise erreicht wurde:

a) Durch schwere stützende Seitenmauern in Stahlbeton in Verbindung mit einer als Biegeträger bemessenen Sohle.

b) Durch Gewichtserhöhung schlanker Seitenmauern mittels eines rückwärtigen Sohlenkragarmes, auf dem das Bodengewicht zur Auftriebsübernahme als Ballast wirksam wird in Verbindung mit einem umgekehrten Sohlengewölbe.

c) Durch Beseitigung des Auftriebs mittels einer Filterschicht unter der Sohle und Entlastungsrohren mit Rückschlagkugelventilverschlüssen und einer Spundwandumschließung.

d) Durch Verankerung der Sohle an schräg gerammten Stahlpfählen, um das Bodengewicht zwischen den Pfählen zur Auftriebsübernahme heranzuziehen.

e) Durch Verankerung der Docksohle mittels vorgespannten Stahlkabelankern an in den Boden eingerüttelten Betonankerblöcken.

f) Durch sinnvolle Unterteilung der Sohle in statisch und bauausführungsmäßig günstige Blöcke, z. T. unter Anwendung von nachträglich zu schließenden Plomben, um die Einflüsse der größeren Setzungen der schweren Seitenwände auf die Sohle zu vermeiden, die Schwindeinflüsse abzumindern und um die Blöcke in einem Zuge, also ohne Unterbrechung betonieren zu können.

g) Berechnung und Bemessung des Dockquerschnittes als Tragkörper auf elastischer Unterlage.

2. Um das Füllen und Leeren der Großdocke schnell und betrieblich günstig vornehmen zu können, wurden Modellversuche durchgeführt, um

a) die günstigste Führung und Querschnittsform der Füll- und Lenzkanäle zu ermitteln, so daß keine überhöhten Geschwindigkeiten auftraten, die den Beton angriffen bzw. daß die Stellen genau festgestellt wurden, wo durch Stahlpanzerung der Beton geschützt werden mußte,

b) die günstigste Form und Lage des Flut- und Lenzquerkanals in der Sohle des Dockhauptes und die beste Form der Energievernichtung zu ermitteln, um größere Wellenbewegungen und konzentrierte Strömungen zu vermeiden und geringste Trossenzüge zu erreichen,

c) die günstigsten Füll- und Leerzeiten durch eine entsprechende Betriebsvorschrift für die Bewegung der Verschlüsse und für die Betätigung der Hauptpumpen zu erreichen,

d) durch zusätzliche Anordnung von Durchlässen im Docktor die Füllzeiten ohne sonstige Störungen zu verkürzen.

Die Versuche zeigten eine gute Übereinstimmung mit dem Betrieb.

3. Es wurden weiterhin folgende neue Wege beschritten:

a) Es wurde in allen Fällen eine mindestens doppelte Dichtung der Dockfugen ausgeführt. Dieser Ausbildungsgrundsatz hat sich im Betrieb bewährt.

b) Ob das Dock in voller Breite oder mit zulaufender Spitze gebaut wurde, hing von den örtlichen Verhältnissen und von den Forderungen des Betriebes ab. Beide Lösungen kamen zur Anwendung.

c) Die Entwässerungskanäle in der Sohle sind an den Stellen angeordnet, wo sie statisch die Hauptabmessungen des Sohlenquerschnittes nicht beeinflußten und gleichzeitig betrieblich nicht störten.

d) Die Dockseitenwände wurden so ausgebildet, daß sie die schweren Kranlasten und die Versorgungsleitungen aufnehmen konnten.

e) Verwendung von Schraubenschauflern mit senkrechter Achse und elektrischem Antrieb.

f) Die zusätzliche Anordnung von kleineren Lenzpumpen zur Trockenhaltung des leeren Docks.

B. Seeschleusen

Die betrieblichen Erfahrungen und die ausgewerteten statisch-konstruktiven Gesichtspunkte ergaben folgende Lösungen:

1. Wo es der Untergrund zuließ, ist

a) entweder bei schwer- oder undurchlässigem Baugrund von einer Sohlenbefestigung Abstand genommen worden

b) oder bei durchlässigem Baugrund die Kammersohle mit 1,0 bis 1,5 m starken Betonplatten auf einer Kiesfilterschicht befestigt worden, vor allem, wenn ein Arbeiten der Schiffsschrauben tiefgehender großer Seeschiffe in der Schleuse nicht von vornherein ausgeschlossen werden konnte.

2. Die Kammermauern wurden als Pfahlrostkajen konstruiert, wobei auf einen vorderen Abschluß durch Spundwände oder Betonwand Wert gelegt wurde.

3. Bei einer Doppelseeschleuse wurde der Abstand der beiden Kammern auch aus Luftschutzgründen so breit gewählt, daß die Tore beider Kammern in die mittlere Insel eingezogen werden konnten und so ein geschütztes einheitliches Torkammerbauwerk billig herzustellen war.

4. Wenn eine Überdeckung der Torkammer gefordert wurde, konnte diese zur Ausbildung als Rahmenquerschnitt vorteilhaft herangezogen werden.

5. Die Anordnung von Einzeltoren oder Doppeltoren als Abschluß im Binnen- oder Außenhaupt war von dem vom Bauherrn gewünschten Sicherheitsgrad für den dahinter liegenden Schleusenhafen abhängig.

6. Für das Füllen und Leeren der Seeschleusen wurde auf besondere, nur verteuernde Umläufe in den Häuptern verzichtet und in die Schleusentore selbst Durchlässe mit oder ohne Energievernichter eingebaut. Auf die richtige Lenkung des Durchflußstrahles wurde besonders geachtet. Bei befestigter Kammersohle wurde der Strahl mit Rücksicht auf die Schiffslage nach unten, bei unbefestigtem Vorboden wegen der Kolkwirkung nach oben abgelenkt.

Die Modellversuche in den Versuchsanstalten zeigten eine gute Übereinstimmung mit den Erfahrungen aus dem Schleusenbetrieb.

C. Docktore

1. Bei den neuen Großdocken wurden als Torverschlüsse schwimmende Riegeltore verwendet, die entweder mit doppelter Stauwand oder mit einer in der Mitte des Tores liegenden einfachen Stauwand versehen waren.

2. Da bei den Riegeltoren der gesamte Wasserdruck in die seitlichen Toranschläge abgeleitet wird, ergaben sich völlig klare statische Verhältnisse und auf einen teueren Drempel konnte verzichtet werden.

3. Die Dichtung erfolgte an den vertikalen Anschlägen durch Kantholz, auf der Sohle durch einen hölzernen Aufsatzbalken mit zusätzlicher Gummidichtung.

4. Zur Verringerung der Füllzeit können auf Grund von Versuchsergebnissen und den guten Betriebserfahrungen bei den Schleusentoren zusätzliche Durchläufe mit Schieberverschlüssen und Prellplatten empfohlen werden.

5. Die Docktore wurden nach beiden Seiten kehrend konstruiert, so daß sie im Betrieb leichter unterhalten werden können.

D. Schleusentore

1. Das Kastentor in Riegelkonstruktion nach dem Schubkarrensystem gelagert — ein Unterwagen und ein Oberwagen — hatte sich im Betrieb bewährt und wurde beibehalten.

2. Die Dichtung an den senkrechten Anschlägen durch Kanthölzer, die auf eine Stahlguß- bzw. Stahlblechplatte mit dahinterliegendem einbetoniertem Stahlgerüst anschlagen, hat sich bewährt. Das Stahlgerüst gestattet eine einwandfreie Montage und gewährleistet ebene und absolut senkrechte Anschlagsflächen ohne spätere Nacharbeit.

Die Dichtung an der Schleusensohle wie bisher durch Federbleche hat auch neuerdings keine Nachteile ergeben.

3. Vorteilhaft bewährt haben sich Durchlaufverschlüsse in den Schleusentoren selbst in der Form von:

Schlauchdurchlässen mit Segmentverschlüssen oder Jalousieverschlüssen,

Durchlässen mit Tosbecken und Schützenverschlüssen.

Der Austrittsstrahl der Durchläufe wurde so gelenkt, daß eine gute Spülwirkung bei gleichzeitiger schadloser Einführung in die Kammer bzw. in den Hafen oder Vorhafen gewährleistet wurde.

Die einzelnen Anlagen wurden anschließend beschrieben und Zeichnungen beigefügt.

Über Tore, die dem Seegang ausgesetzt sind, konnte nicht berichtet werden, da derartige Erfahrungen nicht vorliegen.

Literatur:

[1] Der Bau der Nordschleusenanlage in Bremerhaven in den Jahren 1928—1931
von Hafenbaudirektor Dr.-Ing. Arnold Agatz und Mitarbeiter,
Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin 1931.

[2] Jahrbuch der Hafenbautechnischen Gesellschaft, 17. Band (1937)
Verlag Julius Springer, Berlin,
„Die Seeschleusen der III. Einfahrt in Wilhelmshaven und ihre gründliche Instandsetzung in den Jahren 1934—1937"
von Marinebaurat Dr.-Ing. Gerdes, Wilhelmshaven.

[3] Jahrbuch der Hafenbautechnischen Gesellschaft, 19. Band (1941—49)
Verlag Julius Springer, Berlin,
„Berechnung und konstruktive Gestaltung von Trockendocken und Seeschleusen"
von Prof. Dr.-Ing. Agatz, Bremen.

[4] Vorträge des Deutschen Betonvereins 1949
Verlag des Deutschen Betonvereins, Wiesbaden,
„Der Bau eines Trockendocks im Hamburger Hafen"
von Dipl.-Ing. Philipp Ebert i. Fa. Dyckerhoff & Widmann.

[5] Fachzeitschrift „HANSA", Zentralorgan für Schiffahrt-Schiffbau-Hafen
Schiffahrtsverlag „HANSA" C. Schroedter & Co., Hamburg,
„Das große neue Trockendock der Nordseewerke Emden G.m.b.H., Emden"
von Prof. Dr.-Ing. E. h. Dr.-Ing. Agatz, Bremen,
Dr.-Ing. Lackner, Bremen,
Dipl.-Ing. Matzkait, Emden,
H. Haase, Emden.

Gliederung:

	Seite
I. Allgemeines	231
A Trockendocke	231
B Seeschleusen	232
C Schleusen- und Docktore	233
1. Statische und konstruktive Grundsätze	233
2. Docktore	236
3. Schleusentore	236

Seite

II. Bauwerke 236
A Docktor Elbe 17 Hamburg 236
B Dock VII Wilhelmshaven 238
C Dock Elbe 17 Hamburg 239
D Dock VIII Wilhelmshaven 244
E Dock Emden 246
F Seeschleuse IV. Einfahrt Wilhelmshaven 249

III. Schleusen- und Docktore 251
A Docktor Elbe 17 Hamburg 251
B Docktor 7 Wilhelmshaven 252
C Docktor Emden 252
D Schleusentor III. Einfahrt Wilhelmshaven 254
E Schleusentor IV. Einfahrt Wilhelmshaven 255

I. Allgemeines

A. Trockendocke

Um zu besonders günstigen Konstruktionen zu gelangen, wurden folgende Grundsätze erarbeitet und bei der Bauausführung berücksichtigt:

1. Ziel der konstruktiven Gestaltung der Dockquerschnitte der letzten neuen Großdocke für den Neubau von Schiffen und für den Reparaturbetrieb war es, mit einer möglichst geringen Sohlenstärke auszukommen, was auf folgende Weise erreicht wurde:

1.1 Durch schwere stützende Seitenmauern in Stahlbeton in Verbindung mit einer als Biegeträger bemessenen Sohle. (Elbe 17 Hamburg)

1.2 Durch Gewichtserhöhung schlanker Seitenmauern mittels eines rückwärtigen Sohlenkragarmes, auf dem das Bodengewicht zur Auftriebsübernahme als Ballast wirksam wird in Verbindung mit einem umgekehrten Sohlengewölbe. (Dock VII Wilhelmshaven)

1.3 Durch Beseitigung des Auftriebs mittels einer Filterschicht unter der Sohle und Entlastungsrohren mit Rückschlagkugelventilverschlüssen und einer Spundwandumschließung. (Baudock Bremen)

1.4 Durch Verankerung der Sohle an schräg gerammten Stahlpfählen, um das Bodengewicht zwischen den Pfählen zur Auftriebsübernahme heranzuziehen. (Dock VIII Wilhelmshaven)

1.5 Durch Verankerung der Docksohle mittels vorgespannten Stahlkabelankern an in den Boden eingerüttelten Betonankerblöcken. (Baudock Emden)
(Der Boden zwischen den Ankern wurde noch zusätzlich eingerüttelt, um mit Sicherheit den zwischen den Ankern liegenden Boden zur Auftriebsaufnahme heranziehen zu können.)

1.6 Durch sinnvolle Unterteilung der Sohle in statisch und bauausführungsmäßig günstige Blöcke, z. T. unter Anwendung von nachträglich zu schließenden Plomben, um die Einflüsse der größeren Setzungen der schweren Seitenwände auf die Sohle zu vermeiden, die Schwindeinflüsse abzumindern und um die Blöcke in einem Zuge, also ohne Unterbrechung betonieren zu können.

1.7 Berechnung und Bemessung des Dockquerschnitts als Tragkörper auf elastischer Unterlage.

2. Um das Füllen und Leeren der Großdocke schnell und betrieblich günstig vornehmen zu können, wurden folgende Wege beschritten:

2.1 Durchführung von Modellversuchen, um

2.11 die günstigste Führung und Querschnittsform der Füll- und Lenzkanäle zu ermitteln, so daß keine überhöhten Geschwindigkeiten auftraten, die den Beton angriffen bzw. daß die Stellen genau festgestellt wurden, wo durch Stahlpanzerung der Beton geschützt werden mußte,

2.12 die günstigste Form und Lage des Flut- und Lenzquerkanals in der Sohle des Dockhauptes und die beste Form der Energievernichtung zu ermitteln, um größere Wellenbewegungen und konzentrierte Strömungen zu vermeiden und geringste Trossenzüge zu erreichen,

2.13 die günstigsten Füll- und Leerzeiten durch eine entsprechende Betriebsvorschrift für die Bewegung der Verschlüsse und für die Betätigung der Hauptpumpen zu erreichen,

2.14 durch zusätzliche Anordnung von Durchlässen im Docktor die Füllzeiten ohne sonstige Störungen zu verkürzen.

Die Versuche zeigten eine gute Übereinstimmung mit dem Betrieb.

2.2 Verwendung von Schraubenschauflern mit senkrechter Achse und elektrischem Antrieb.

(Diese Pumpen drücken das Wasser über einen Überlauf. Eine derartige Pumpenanlage läßt sich auf kleinstem Raum in der Seitenmauer des Dockhauptes leicht unterbringen.)

2.3 Die zusätzliche Anordnung von kleineren Lenzpumpen zur Trockenhaltung des leeren Dockes.

3. Es wurde in allen Fällen eine mindestens doppelte Dichtung der Dockfugen ausgeführt. Dieser Ausbildungsgrundsatz hat sich im Betrieb bewährt.

4. Ob das Dock in voller Breite oder mit zulaufender Spitze gebaut wurde, hing von den örtlichen Verhältnissen und von den Forderungen des Betriebes ab. Beide Lösungen kamen zur Anwendung.

5. Die Entwässerungskanäle in der Sohle sind an den Stellen angeordnet, wo sie statisch die Hauptabmessungen des Sohlenquerschnittes nicht beeinflußten und gleichzeitig betrieblich nicht störten.

(Sie müssen so groß bemessen werden, daß sie nicht nur für den Lenzwasseranfall ausreichen, sondern darüber hinaus auch den Abfluß des Restwassers bei der Dockentleerung wirkungsvoll unterstützen. Dementsprechend muß die Docksohle ebene Gefälleflächen zur Entwässerung aufweisen.)

6. Die Dockseitenwände wurden so ausgebildet, daß sie die schweren Kranlasten und die Versorgungsleitungen aufnehmen konnten.

B. Seeschleusen

Die betrieblichen Erfahrungen und die ausgewerteten statisch-konstruktiven Gesichtspunkte ergaben folgende Lösungen:

1. Wo es der Untergrund zuließ, ist

a) entweder bei schwer- oder undurchlässigem Baugrund von einer Sohlenbefestigung Abstand genommen worden

b) oder bei durchlässigem Baugrund die Kammersohle mit 1,0 m bis 1,5 m starken Betonplatten auf einer Kiesfilterschicht befestigt worden, vor allem, wenn ein Arbeiten der Schiffsschrauben tiefgehender großer Seeschiffe in der Schleuse nicht von vornherein ausgeschlossen werden konnte.

2. Die Kammermauern wurden als Pfahlrostkajen konstruiert, wobei auf einen vorderen Abschluß durch Spundwände oder Betonwand Wert gelegt wurde.

3. Bei einer Doppelseeschleuse wurde der Abstand der beiden Kammern auch aus Luftschutzgründen so breit gewählt, daß die Tore beider Kammern in die mittlere Insel eingezogen werden konnten und so ein geschütztes einheitliches Torkammerbauwerk billig herzustellen war.

4. Wenn eine Überdeckung der Torkammer gefordert wurde, konnte diese zur Ausbildung als Rahmenquerschnitt vorteilhaft herangezogen werden.

5. Die Anordnung von Einzeltoren oder Doppeltoren als Abschluß im Binnen- oder Außenhaupt war von dem vom Bauherrn gewünschten Sicherheitsgrad für den dahinterliegenden Schleusenhafen abhängig.

(Ob das Doppeltor in das Binnen- oder Außenhaupt gelegt oder ob in einem zu bestimmenden Abstand innerhalb der Schleusenkammern ein weiteres Einzeltor angeordnet wird, hängt davon ab, ob nur Großschiffe oder auch Seeschiffe kleinerer Abmessungen die Schleuse benutzen. Abgesehen von dem größeren Wasserverlust spielt eine Abkürzung der Schleusungszeit bei den nur wenigen Minuten der Füll- und Leerzeit allerdings kaum eine Rolle.)

6. Für das Füllen und Leeren der Seeschleusen wurde auf besondere nur verteuernde Umläufe in den Häuptern verzichtet und in die Schleusentore selbst Durchlässe mit oder ohne Energievernichter eingebaut. Auf die richtige Lenkung des Durchflußstrahles wurde besonders geachtet. Bei befestigter Kammersohle wurde der Strahl mit Rücksicht auf die Schiffslage nach unten, bei unbefestigtem Vorboden wegen der Kolkwirkung nach oben abgelenkt.

Die Modellversuche in den Versuchsanstalten zeigten eine gute Übereinstimmung mit den Erfahrungen aus dem Schleusenbetrieb.

C. Schleusen- und Docktore

1. Statisch-konstruktive Grundsätze

a) Belastung der Schleusen- und Docktore durch:

Eigengewicht,
Verkehrslasten, falls Verkehr über das Tor geht,
Wasserüberdruck,
Auftriebskräfte,
Windkräfte,
Antriebs- und Reibungskräfte beim Verfahren von Schiebetoren,
Reibungswiderstände an den Auflagern, die eine freie Verformung des durch Wasserüberdruck belasteteten Tores behindern (Einspannungswirkung),
dynamische Wasserdruckbelastungen, falls das Tor der Wirkung von fließendem Wasser (z. B. bei Durchlässen im Tor) oder Wellenwirkungen ausgesetzt ist,
Schiffsstöße.

b) Ausbildungs- und Berechnungsgrundsätze für die konstruktive Gestaltung der Tore

Von den früher üblichen Ständertoren mit Drempelabstützung ist man bereits seit längerer Zeit auf reine „Riegeltore" übergegangen. Bei letzteren wird praktisch der gesamte Wasserdruck in die Seitenanschläge abgetragen. Die tragenden Elemente zur Aufnahme des Wasserdrucks sind die Stauwände mit ihren Aussteifungen, die Riegel und die Querverbände. Der Schwimmkasten wirkt dabei meist als Hauptriegel mit. Da die einzelnen Riegel durch die Querverbände miteinander verbunden sind, ist eine unabhängige Durchbiegung der Riegel nicht möglich. Das Tor stellt daher im allgemeinen Fall theoretisch ein hochgradig statisch unbestimmtes System dar, das genau nur nach der Elastizitätstheorie und angenähert nach dem Trägerrostverfahren berechnet werden kann. Im letzteren Fall muß jedoch beachtet werden, daß vor allem Kastentore oder Tore mit beiderseitiger Stauwand einen Torsionsquerschnitt von großer Steifigkeit darstellen. Die bekannten Berechnungsverfahren für Trägerroste sind daher nur bedingt anwendbar. In einer Zusatzberechnung muß hier die Torsionssteifigkeit mit berücksichtigt werden. Die statische Berechnung der Riegeltore wird jedoch verhältnismäßig einfach, wenn die Verwindungssteifigkeit der Torkonstruktion vernachlässigbar klein ist. Das ist immer dann der Fall, wenn der Schwimmkasten nicht verwindungssteif ist und wenn nur e i n e Stauwand, entweder einseitig oder mittig, angeordnet ist. Die Bemessung der Riegel erfolgt dann für die darauf entfallenden Anteile der Wasserdruckbelastung, wobei durch entsprechende Profilwahl für alle Riegel möglichst gleiche Durchbiegungen anzustreben sind.

In den meisten Fällen müssen jedoch verschiedene Belastungsfälle berücksichtigt werden, so daß eine gleiche Durchbiegung nicht für alle Riegel erreichbar ist. Dann muß der Belastungsausgleich durch die lotrechten Zwischenschotte erfolgen, die entsprechend zu bemessen sind. Eine vereinfachte Näherungsberechnung kann dann unter den Grenzannahmen durchgeführt werden, daß keine Zwischenschotte vorhanden sind und unter der Annahme absolut starrer Zwischenschotte. Das jeweils ungünstigere Berechnungsergebnis wird der Bemessung der Riegel und Querverbände zugrunde gelegt. Die tatsächlich auftretenden Beanspruchungen liegen dann stets zwischen den beiden berücksichtigten Grenzwerten.

Besitzt die Torkonstruktion durch Anordnung beiderseitiger Stauwände und durch den steifen Schwimmkasten eine erhebliche Verwindungssteifigkeit, so empfiehlt es sich bei großen Toren stets, eine genauere Berechnung nach der Elastizitätstheorie durchzuführen. Nur eine solche Berechnung gewährleistet eine ausreichende Sicherheit bei sparsamster Konstruktion.

Für die Bestimmung der Torbreite sind nicht allein die statischen Erfordernisse entscheidend. Vielmehr müssen auch die Bedingungen zum Ein- und Ausschwimmen der Tore bzw. beim Transport selbstschwimmender Tore maßgeblich berücksichtigt werden. Häufig wird gefordert, daß die Tore auch bei NNW ausschwimmbar sind. Die Tauchtiefe ist dann ungünstig vorgegeben. Durch eine solche Forderung ist eine besonders tiefe Lage des Schwimmkastens bedingt, die sich sehr ungünstig auf die Schwimmstabilität des Tores auswirkt.

Eine Gewichtsstabilität ist nur selten zu erreichen.

Allgemein besitzen die Tore nur Formstabilität, wobei eine metazentrische Höhe von mindestens 1,0, besser 2,0 m anzustreben ist. Dies ist bei tiefliegendem Schwimmkasten nur durch eine entsprechend große Torbreite oder durch tiefliegenden Ballast erreichbar.

c) Lagerung und Dichtung von Schleusen- und Docktoren

Als Schleusenverschlüsse wurden stets Schiebetore angewendet. Obwohl die Tore in Riegelkonstruktion ausgeführt wurden, wurde der Drempelanschlag im Hinblick auf die Sohlendichtung der ein- und ausfahrenden Schiebetore für das entsprechend ausgebildete Federblech mit Dichtungsleiste nach wie vor beibehalten. Die Lagerung erfolgte nach dem Schubkarrensystem auf einem vorderen Unterwagen und einem hinteren Oberwagen mit Gelenkzahnstangenantrieb.

Bei den modernen Schwimmtoren für Trockendocke in Riegelbauweise verzichtet man völlig auf den Anschlag am Drempel, so daß die Sohle eben ausgeführt werden kann. Die Auflagerung, Lastübertragung und Dichtung gegen die Seitenanschläge wurden in der bisherigen Form beibehalten. Die Sohlendichtung wurde bei den Docktoren als reine Aufsatzdichtung ausgeführt. Der Sohlendichtungsbalken setzte sich auf einen im Beton vergossenen Stahlträger auf, wobei eine ausreichend große Belastung des Sohlenbalkens sichergestellt sein mußte. Diese wird durch Fluten von bestimmten, hierfür vorgesehenen Zellen des Schwimmkastens erzeugt. Eine gute Abdichtung wird außerdem nur bei genauer Bearbeitung des Sohlenbalkens und einer genauen Montage des einbetonierten Stahlträgers erzielt. Da dieses Schwierigkeit bereitet, erhält der Aufsatzbalken des Tores zweckmäßig zusätzliche Gummidichtungen in besonderen Profilen.

d) Durchlässe in den Schleusentoren

Bei neueren Anlagen wird das Füllen und Entleeren der Schleusen nicht mehr durch Umläufe in den Häuptern, sondern durch Durchlässe in den Toren vorgenommen. Bei den Toren der III. Einfahrt Wilhelmshaven sind erstmalig im Zuge der Instandsetzung in den Jahren 1934—1937 Durchlässe mit Jalousieverschlüssen eingebaut worden. Da über die Wirkungsweise derartiger Verschlüsse seinerzeit keine Erfahrungen vorlagen, wurden umfangreiche Modellversuche durchgeführt, deren Hauptaufgabe es war, die Füll- und Entleerungszeiten der Schleuse zu bestimmen und die auftretenden Trossenzüge während des Schleusungsvorganges zu ermitteln. Außerdem wurden durch Druckmessungen am Tormodell die auf die Torkonstruktion und die Durchlässe selbst wirkenden statischen und dynamischen Kräfte festgestellt. Sie bildeten die Grundlage für die statische Berechnung der entsprechenden Konstruktionsteile und für die Bemessung der Antriebe der Durchlaßverschlüsse.

Bei den schlauchartigen Durchlässen mit Drehsegmentverschluß vollzieht sich die Energievernichtung erst in der Schleusenkammer bzw. über dem Vorboden. Bei den Durchlässen mit zwischengeschalteter Toskammer wird die Energie in zwei Stufen, und zwar in der Toskammer und in der Schleusenkammer bzw. über dem Vorboden vernichtet. Entsprechend dem Grade der Energievernichtung in der Toskammer ergeben sich für Schiffe, die in der Schleusenkammer liegen, verschiedene Trossenzüge.

Nach Messungen am Modell lagen die Trossenzugkräfte auch bei Schlauchdurchlässen weit unter den Trossenzügen, die bei Pollern für das Regelfrachtschiff des Weltverkehrs in Ansatz gebracht werden.

Bei der IV. Einfahrt in Wilhelmshaven kamen dann ebenfalls auf Grund von Modellversuchen schlauchartige Durchlässe mit Segmentverschlüssen und Toskammerdurchlässe mit Schützenverschlüssen zur Anwendung.

Beim Docktor Emden wurden noch zusätzliche Flutschieber ϕ 800 mm mit Prellwänden zur Energievernichtung eingebaut.

2. Docktore

a) Bei den neuen Großdocken wurden als Torverschlüsse schwimmende Riegeltore verwendet, die entweder mit doppelter Stauwand oder mit einer in der Mitte des Tores liegenden einfachen Stauwand versehen waren.

b) Da bei den Riegeltoren der gesamte Wasserdruck in die seitlichen Toranschläge abgeleitet wird, ergaben sich völlig klare statische Verhältnisse und auf einen teueren Drempel konnte verzichtet werden.

c) Die Dichtung erfolgte an den vertikalen Anschlägen durch Kantholz, auf der Sohle durch einen hölzernen Aufsatzbalken mit zusätzlicher Gummidichtung.

d) Zur Verringerung der Füllzeit können auf Grund von Versuchsergebnissen und den guten Betriebserfahrungen bei den Schleusentoren zusätzliche Durchläufe mit Schieberverschlüssen und Prellplatten empfohlen werden.

e) Die Docktore wurden nach beiden Seiten kehrend konstruiert, so daß sie im Betrieb leichter unterhalten werden können.

3. Schleusentore

a) Das Kastentor in Riegelkonstruktion nach dem Schubkarrensystem gelagert — ein Unterwagen und ein Oberwagen — hatte sich im Betrieb bewährt und wurde beibehalten.

b) Die Dichtung an den senkrechten Anschlägen durch Kanthölzer, die auf eine Stahlguß- bzw. Stahlblechplatte mit dahinterliegendem einbetonierten Stahlgerüst anschlagen, hat sich bewährt. Das Stahlgerüst gestattet eine einwandfreie Montage und gewährleistet ebene und absolut senkrechte Anschlagsflächen ohne spätere Nacharbeit.

Die Dichtung an der Schleusensohle wie bisher durch Federbleche hat auch neuerdings keine Nachteile ergeben.

c) Vorteilhaft bewährt haben sich Durchlaufverschlüsse in den Schleusentoren selbst in der Form von:

Schlauchdurchlässen mit Segmentverschlüssen oder Jalousieverschlüssen,
Durchlässen mit Tosbecken und Schützenverschlüssen.

Der Austrittsstrahl der Durchläufe wurde so gelenkt, daß eine gute Spülwirkung bei gleichzeitiger schadloser Einführung in die Kammer bzw. in den Hafen oder Vorhafen gewährleistet wurde.

II. Bauwerke

A. Dock Bremen (Anmerkung) (Bild 1)

Hier handelt es sich um ein Baudock mit folgenden Abmessungen:

Nutzlänge	350 m
Nutzbreite	60 m
Tiefe des Drempels unter MThw. . . .	9 m.

Für die Wahl des endgültigen Querschnittes war der vorhandene Untergrund unter der Docksohle, bestehend aus Geschiebemergel und aus Tonmergel (sogenannter „Lauenburger Ton") in praktisch geschlossener Formation, entscheidend. Der „Lauenburger Ton" wurde im Dockbereich in einer Mächtigkeit von rd. 30 m erbohrt.

Ein auftriebssicherer Querschnitt hätte einen tiefen Aushub bedingt, der wegen der geforderten kurzen Bauzeit und dem dicht neben dem Dock liegenden Weserstrom möglichst vermieden werden sollte. Man entschloß sich daher für einen leichteren Querschnitt, wobei der Auftrieb auf folgende Weise beseitigt wurde:

Bild 1. Dock Bremen - Querschnitt -

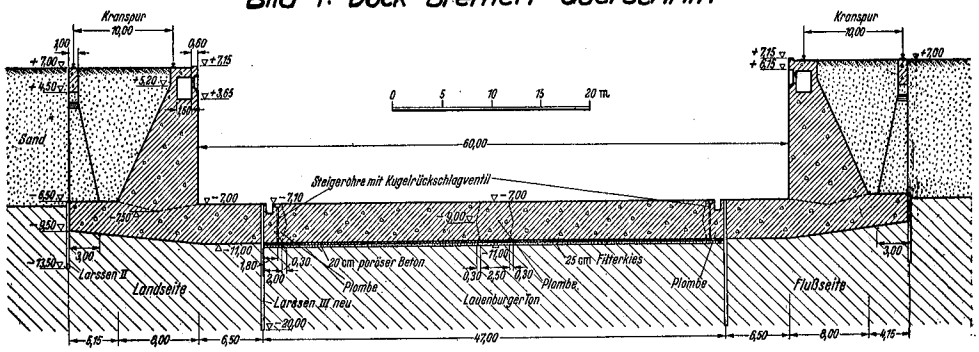


Bild 1 Dock Bremen — Querschnitt

Der bei Weserhochwasser nicht auftriebsichere 4 m dicke Docksohlenteil wurde durch eine beiderseitig 9 m tief unter der Sohle eingerammte Stahlspundwand umschlossen, an die die Docksohle angehängt wurde. Außerdem wurde eine 25 cm dicke Filterkiesschicht und darüber eine 20 cm starke Filterbetonschicht unter der Sohle eingebracht. In diese Filterzone wurden dann nahe den Sohlenrändern Steigrohre mit Kugelrückschlagventilverschlüssen angeordnet, die erst wirksam wurden, kurz bevor der Auftrieb das Gewicht der Docksohle erreichte.

Die Docksohle, die wegen der geforderten hohen Kiellasten von 500 t/lfdm bis örtlich 1200 t/lfdm eine Stärke von 4 m erhielt, wurde in Abschnitten schachbrettartig betoniert, wobei die beiden Seiten- und die Mittelplombe erst im Spätstadium der Dockherstellung mit Beton verfüllt wurden.

Die Seitenmauern erhielten zur Erhöhung der Standsicherheit einen rückwärtigen Sporn, auf dem gleichzeitig der landseitige Kranbahnbalken für die schweren 40 t Krane gegründet wurde.

Die Oberkante der Seitenmauern wurde bis + 7,15 NN. heraufgeführt, um das Dock sturmflutsicher zu gestalten. Im Kopf der Seitenmauern wurde ein begehbarer Versorgungskanal angeordnet.

Die beiderseitigen Treppen in Dockmitte und am Dockhaupt wurden in Stahlkonstruktion ausgeführt und durch ausklappbare Konsolen unterstützt. Es war so bei sehr breiten Schiffen jederzeit möglich, diese Treppen herauszunehmen. Der Verkehr zur Docksohle konnte dann noch über die Stahltreppen an der Dockspitze aufrechterhalten werden.

Das Füllen des Docks erfolgte durch einen Flutkanal am Dockhaupt, der als Querkanal knapp hinter dem Docktor angeordnet und oben teilweise mit Stahlbetonbalken abgedeckt war, deren Lage und Form auf Grund von Modellversuchen so festgelegt wurde, daß eine unnötige Wellenbewegung und größere Trossenzüge mit Sicherheit vermieden wurden. Dieser Kanal diente gleichzeitig als Lenzkanal. Der Dockkörper selbst ist fertiggestellt worden. Infolge des Kriegsendes ist das Dock jedoch nicht mehr in Betrieb genommen worden.

Anmerkung:

Statisch-konstruktive Bearbeitung:
Ingenieurbüro des erstgenannten Berichters
Bauausführung:
Fa. Hermann Möller, Wilhelmshaven

B. Dock VII Wilhelmshaven (Anmerkung) (Bild 2)

Das Dock VII in Wilhelmshaven wurde als Baudock mit folgenden Abmessungen konstruiert:

Nutzbare Länge	350	m
Nutzbare Breite	60	m
Tiefe des Drempels unter MHaW . . .	8,55	m

Der Untergrund besteht aus diluvialem Feinsand unter einer etwa 2—3 m dicken aluvialen Kleischicht.

Das Dock wurde in Baublöcken von 16,4 m Breite unterteilt.

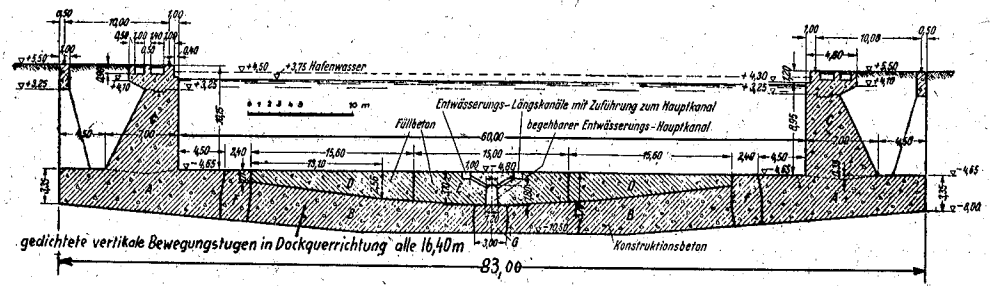


Bild 2. Dock VII Wilhelmshaven - Querschnitt -

Bild 2 Dock VII Wilhelmshaven — Querschnitt

Die Blockfugen erhielten eine dreifache Dichtung. Unten wurde ein 8—10 cm dicker mit Bitumen getränkter Strick auf einer doppelten Asphaltpappenunterlage aufgeklebt. In der Mitte wurde eine Alcuta-Dichtung angeordnet. An der Oberseite erhielten die Bewegungsfugen eine schräg angeordnete Einfassung aus Stahlblechen. Der so gebildete schwalbenschwanzförmige Hohlraum wurde im unteren Teil mit einem in Bitumen getränkten Hanfstrick verstemmt und im oberen Teil durch verstemmte Bleiwolle abgedichtet. Diese obere Dichtung brachte den Vorteil, etwa auftretende Undichtigkeiten durch weiteres Verstemmen mit Bleiwolle nachdichten zu können. Nach dem Ansteigen des Grundwassers zeigten sich in den folgenden Jahren keine Undichtigkeiten in den Fugen.

Das Dock erhielt eine nach unten gewölbte Sohle (umgekehrtes Gewölbe) mit 2,60 m Dicke im Scheitel und 3,80 m an den Widerlagern. Der darüber liegende Teil des mittleren Sohlenabschnittes wurde bis Oberkante Docksohle in unbewehrtem Aufbeton ausgeführt. Die gesamte Sohlendicke beträgt in der Mitte 5,70 m, an den Seiten verjüngt sie sich auf 4,30 m.

Die Vergrößerung des wirksamen Gewichts der Seitenmauern für die Auftriebaufnahme und für die Aufnahme der lotrechten Komponente des Gewölbeschubes des mittleren Sohlenabschnittes erfolgte durch billigen Sandballast.

Da das Dock mit schweren 40 t Werftkranen ausgerüstet werden sollte und daher auf eine einwandfreie Gründung der rückwärtigen Kranbahn ein besonderer Wert gelegt werden mußte, brachte der hintere Sohlensporn den Vorteil, die rückwärtige Kranbahn auf einzelstehenden Pfeilern mit durchlaufendem oberem Kranbahnbalken sehr wirtschaftlich gründen zu können.

Das Dock wurde in der Querrichtung in vier Abschnitten hergestellt. Zuerst wurden die schweren Seitenmauern hergestellt und hinterfüllt, um hier die Setzungen vor dem Schließen der Plomben ausklingen zu lassen. Die Gewölbesohle wurde durch eine mittlere Plombe in zwei Abschnitte unterteilt, die ihrerseits von den Seitenwandblöcken durch Seitenplomben getrennt waren.

Über dem Scheitel der Gewölbesohle wurde im Aufbeton ein leistungsfähiger Entwässerungskanal angeordnet.

Als Pumpen waren MAN-Schraubenschaufler mit elektrischem Antrieb vorgesehen, die gleichzeitig auch das später zu bauende Nachbardock entleeren sollten.

Das Dock selbst ist als Betonbauwerk fertiggestellt, jedoch aus kriegsbedingten Gründen nicht mehr in Betrieb genommen worden.

Anmerkung:

Statisch-konstruktive Bearbeitung:
Ingenieurbüro des erstgenannten Berichters

Bauausführung:
Fa. Heinrich Butzer KG., Dortmund

C. Dock Elbe 17 Hamburg (Anmerkung) (Bild 3 a — b — c)

Das für den Bau von Seeschiffen errichtete Dock hat folgende Abmessungen:

Maximale Länge	326,50 m
Nutzbreite	60,00 m
Breite an der Dockspitze	20,00 m
Tiefe des Drempels unter MThw	10,45 m

Für die Querschnittsgestaltung war die Forderung nach einem Sicherheitsfaktor 1,05 des Gesamtbauwerkes gegen Aufschwimmen bei höchstem Hochwasser maßgebend. Die Sohle konnte daher den auf sie wirkenden Auftrieb durch ihr Gewicht allein nicht aufnehmen. Sie mußte den Auftriebsüberschuß auf die schweren Seitenwände übertragen und mußte daher als 84 m langer bewehrter Stahlbetonträger ausgebildet werden. Sie ist im mittleren Teil auf 20 m Breite 6,5 m dick und verjüngt sich bis zum Baugrubenrand auf 4,5 m.

Aus herstellungstechnischen Gründen und zum Ausgleich von Belastungs- und Setzungsunterschieden wurde das Dock durch Bewegungsfugen in 16 Blöcke

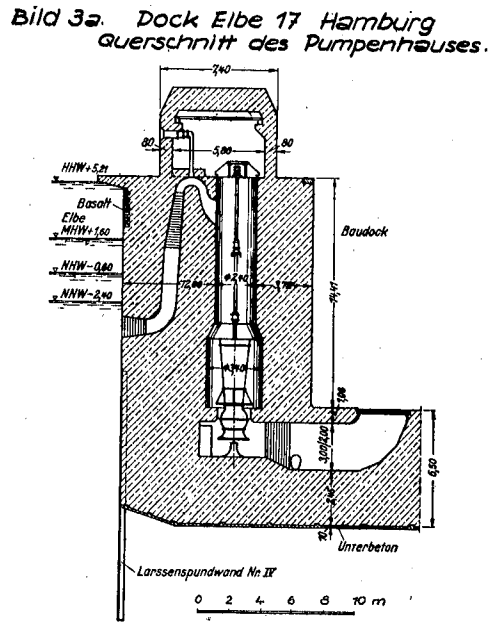


Bild 3a Dock Elbe 17 Hamburg — Querschnitt des Pumpenhauses

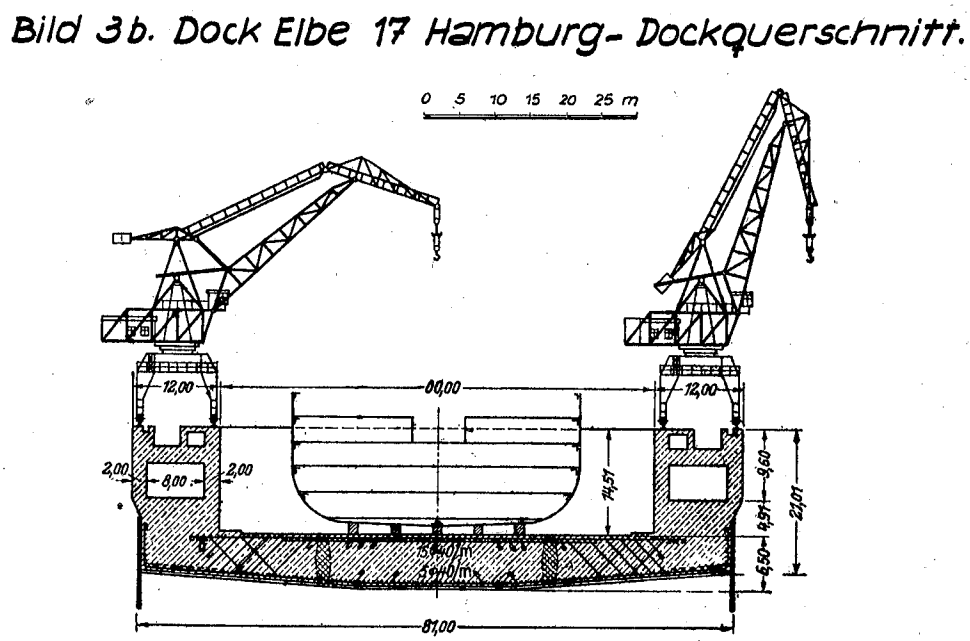


Bild 3b Dock Elbe 17 Hamburg — Dockquerschnitt

unterteilt. Diese Blöcke wurden außerdem noch durch Arbeitsfugen in Form von Plomben von etwa 1,5 m mittlerer Breite, parallel zur Dockachse in drei Abschnitte unterteilt und nacheinander betoniert.

Die Breite der Seitenwände ergab sich aus der Spurweite der einwandfrei zu gründenden Kranschienen für die schweren Wippkrane (40 t Nutzlast bei 40 m Ausladung) zwangsläufig mit etwa 12 m.

Die Belastung der Kielstapel betrug maximal 1200 t/lfdm Dock. Diese große Last mußte durch eine entsprechende Bewehrung der Sohle auf eine genügende Breite verteilt werden.

Die Berechnung der Sohle wurde nach verschiedenen Verfahren vorgenommen, um so die Beanspruchungen einzugrenzen. So wurde die Sohle als Träger auf elastischer Bettung mit drei verschiedenen Bettungsziffern berechnet. Ferner wurden Näherungsansätze über die Verteilung der Seitenwandlasten unmittelbar auf den Baugrund und auf die Sohle durchgerechnet und die verschiedenen Bauzustände untersucht mit Berücksichtigung der auftretenden Zwischenzustände.

Die Querfugen im Abstand von rd. 22 m wurden anfangs mit gebogenen Kupferblechen etwa 1 m unter der Sohlenoberkante gedichtet. Außerdem wurden beiderseits dieser Hauptdichtung zusätzliche Teerstrickdichtungen angeordnet, welche in winkelförmigen Nuten verlegt wurden. Wegen der Knappheit an Kupfer wurde später die Dichtung aus Kupferblech durch eine auswechselbare Gummiplatte ersetzt. Diese wurde mittels Profileisen an einbetonierte, winkeleisenförmige Verkleidungen der Blockkanten angedrückt.

Die Toranschläge wurden mit einer verhältnismäßig schwachen Panzerung aus 14 mm starken Stahlblechplatten, die miteinander verschweißt wurden, versehen. Die dahinterliegende Rundeisenbewehrung folgte genau dem Verlauf der auf spannungsoptischem Wege ermittelten Spannungstrajektorien.

Infolge der besonderen Lage des Docks konnten die Pumpenanlage ebenso wie die Fülleinrichtungen des Docks in der in den Strom hinausreichenden Dockseitenmauer untergebracht werden.

Die Form und die Verteilung der Einlauföffnungen und der sonstigen Kanäle wurden auf Grund von Modellversuchen festgelegt. Für das Lenzen des Docks wurden 3 Stück MAN-Schraubenschaufler mit lotrechter Achse angewendet, davon 1 in Reserve.

Außerdem waren noch zwei kleinere Pumpen für die Beseitigung des normalen Regenwassers und des Wassers aus eventuellen kleinen Undichtigkeiten usw. als Lenzwasserpumpen angeordnet. Es zeigte sich bei der Inbetriebnahme des Docks, daß letztere kaum einmal in der Woche arbeiten mußten.

Anmerkung:

Statisch-konstruktive Bearbeitung:
Fa. Dyckerhoff & Widmann KG. in Zusammenarbeit mit Prof. Dr.-Ing. Streck, Hannover.

Bauausführung:
Fa. Dyckerhoff & Widmann KG.

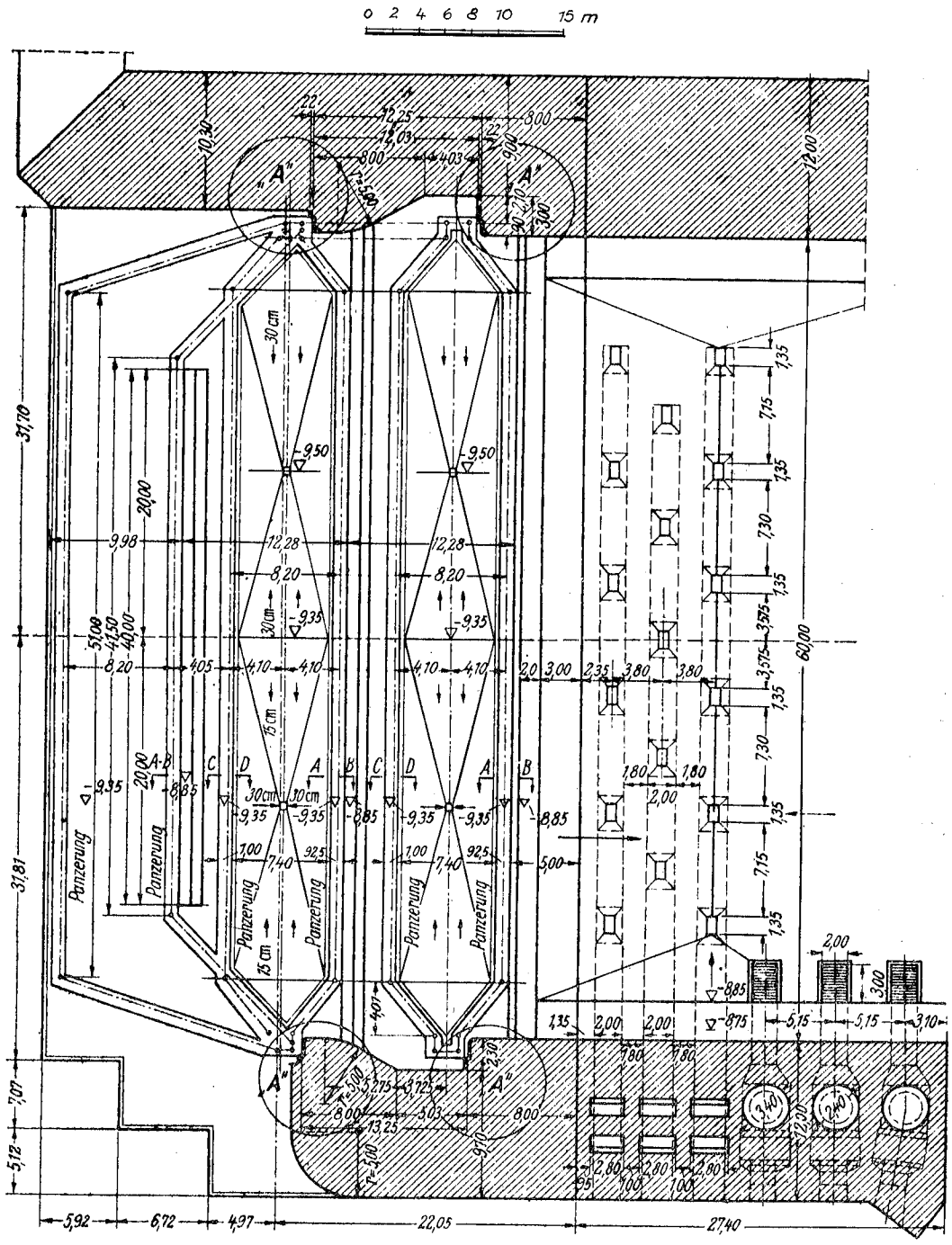
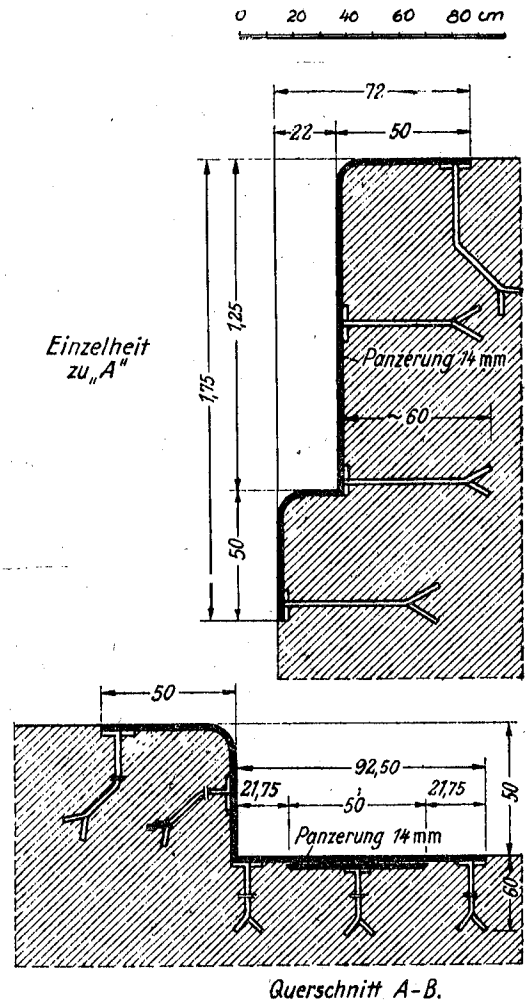


Bild 3c. Dock Elbe 17 Hamburg - Grundri

Bild 3 c Dock Elbe 17 Hamburg — Grundriß vom Dockhaupt



vom Dockhaupt.

D. Dock VIII Wilhelmshaven (Anmerkung) (Bild 4)

Dieses Dock wurde als Reparaturdock mit folgenden Abmessungen entworfen:

Nutzlänge	350,00 m
Nutzbreite	60,00 m
Drempeltiefe unter MHaW	15,90 m

Das Dock liegt in einem Gelände, dessen Untergrund aus diluvialem Sandboden besteht, der von einer 2—3 m dicken aluvialen Kleischicht überdeckt wird.

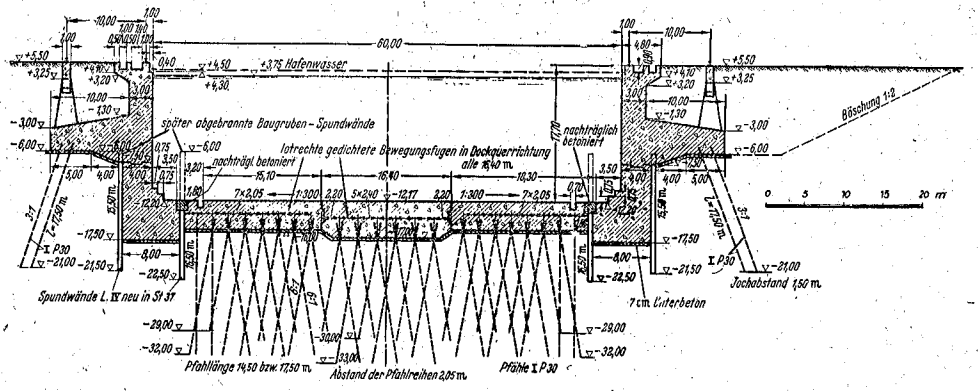


Bild 4. Dock VIII Wilhelmshaven - Querschnitt -

Bild 4 Dock VIII Wilhelmshaven — Querschnitt

Beim vorhandenen großen Auftrieb kamen drei Lösungen in Frage:

1. Dock mit Filtersohle.

Auf diese Lösung wurde nicht zurückgegriffen, weil dabei sehr große Wassermengen laufend gepumpt werden mußten, die Pumpenanlage nicht die erforderliche Betriebssicherheit für Kriegseinwirkungen aufwies und weil Schäden durch Schrumpfung der oberen Kleischicht in der Stadt auf ein Minimum zu beschränken waren.

2. Ein massives Dock.

Dieses hätte eine derartig starke Betonsohle erhalten müssen, daß es weder wirtschaftlich noch bauausführungsmäßig zu vertreten war. Außerdem mußten bei dem dicht danebenliegenden bereits fertiggestellten Dock zusätzliche Setzungen bei der erforderlichen übergroßen Absenkung des Grundwassers erwartet werden.

3. Dock mit verankerter Sohle.

Hierfür wurde ein besonderer Vorschlag ausgearbeitet, der zur Ausführung bestimmt wurde.

Die Untersuchungen führten zu folgendem Ergebnis:

a) Eine Lösung mit nur senkrecht angeordneten Zugpfählen schied aus, da diese bei den vorhandenen Bodenverhältnissen nicht die Gewähr gab, daß der Boden in vollem Umfang zwischen den Pfählen dauernd als Auftrieb-Gegengewicht wirksam blieb. Hier war auch zu berücksichtigen, daß diese Pfähle starken Wechselbeanspruchungen ausgesetzt sind und zwar auf Zug bei leerem Dock und entsprechend großem Druck bei hoher Kiellast.

b) Eine Verankerung an sich kreuzenden Schrägpfahlreihen hatte gegenüber einer Lösung nach a) den Vorteil, daß hier infolge der Vernähung des Untergrundes die Gewähr gegeben war, daß der Boden zwischen den Schrägpfählen in ausreichendem Umfang und dauernd wirksam als Gegengewicht herangezogen werden konnte. Zur Vermeidung einer Pfahllockerung infolge von Wechselbeanspruchungen mußte aber auch hier die rechnungsmäßige Nutzlast entsprechend tief unter der Grenzlast auf Zug und Druck bleiben.

c) Ein Versuch, einen rechteckigen Winkeleisenrahmen bis zur erforderlichen Tiefe nach dem Keller'schen Rüttelverfahren abzusenken, hatte ein positives Ergebnis. Die Zugkräfte sollten hier jeweils durch vier Rundstahlanker, die in die Sohle einbetoniert werden sollten, von der Sohle in den Winkeleisenrahmen übertragen werden.

Die Entscheidung fiel zugunsten des Dockes mit Schrägpfahlverankerung. Die Bauarbeiten wurden begonnen, das Dock jedoch aus kriegsbedingten Gründen nicht zu Ende gebaut.

Als Verankerungspfähle wurden Breitflanschträger IP 30 gewählt, nachdem Versuche, mit verwundenen IP 30-Pfählen eine größere Gesamt-Wirtschaftlichkeit als mit glatten Pfählen zu erreichen, kein positives Resultat ergeben hatten.

Die Betonsohle besteht aus einer mittleren 16,40 m breiten Stahlbetonplatte von rd. 4,80 m Dicke und zwei rd. 3,80 m dicken Seitenfeldern. Der mittlere Teil mußte stärker gewählt werden, weil hier Kiellasten von 500 t/lfdm bis örtlich 1200 t/lfdm gefordert wurden.

Die Seitenmauern sind im unteren Teil aus einer massiven 4 m dicken Betonwand hergestellt, die sich unten auf einen i. M. 8,36 m breiten, im Schutze einer Umspundung tief gegründeten Sohlblock abstützt. Der darüberliegende winkelförmige Aufbau kragt 9 m breit nach hinten in das Erdreich und wird im rückwärtigen Teil durch zwei schräge Zugpfahlreihen nach hinten und unten verankert, um beim späteren Betrieb des Dockes die Erd- und Wasserdruckbelastungen einwandfrei aufnehmen zu können. Auf diesen rückwärtigen Sporn konnte wiederum wie bei Dock VII die Gründung der schweren hinteren Kranbahn vorgenommen werden.

Die Bauausführung der Sohle konnte nach Erstellung der Seitenwände in einer einwandfrei gesicherten Baugrube vorgenommen werden.

Die Dichtung der Fugen war wie bei Dock VII vorgesehen, wobei die Baublockbreite ebenfalls mit 16,4 m gewählt wurde.

Als Verschluß war ein kastenförmiges Schwimmtor mit nur seitlicher Wasserdruckabtragung geplant, das jedoch nicht mehr zur Ausführung gekommen ist.

Die Füllung und Leerung des Docks sollte über einen Flut- und Lenzkanal am Dockhaupt erfolgen, der in ein unterirdisches Pumpenhaus zwischen Dock VII und VIII führt, von dem aus beide Docks bedient werden sollten.

Anmerkung:

Statisch-konstruktive Bearbeitung:
Ingenieurbüro des erstgenannten Berichters

Bauausführung:
Fa. Heinrich Butzer KG., Dortmund

E. Dock Emden (Anmerkung) (Bild 5 a — b — c)

Auf Grund eingehender Überlegungen mit dem Bauherrn des Docks, der Nordseewerke Emden GmbH., Emden, wurde für die Bemessung des Bau- und Reparaturdocks ein Groß-Schiff von 38 000 dwt zugrunde gelegt. Damit ergaben sich folgende Dockabmessungen:

Maximale Länge	218	m
Lichte Breite über die ganze Länge . .	32	m
Höhenlage des Drempels und der übrigen Sohle in Dockmitte unter MHaW . .	8,20	m

Die Docksohle ist so bemessen, daß auch zwei Kielstapelreihen angeordnet werden können, wenn zwei Schiffe nebeneinander gebaut oder gedockt werden.

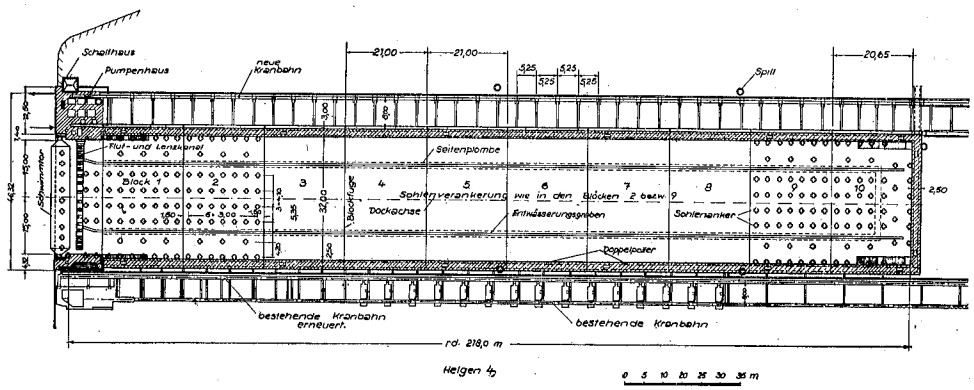


Bild 5a. Grundriß des ausgeführten Dockes in Emden.

Bild 5 a Dock Emden — Grundriß des ausgeführten Docks

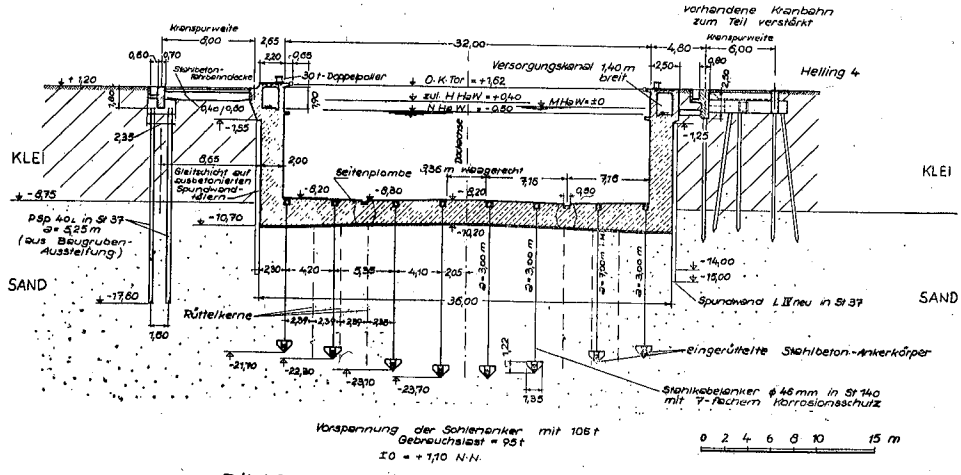


Bild 5b. Normalquerschnitt des fertigen Dockes in Emden.

Bild 5 b Dock Emden — Normalquerschnitt des fertigen Docks

In der Vorplanung wurden verschiedene Trockendock-Konstruktionsformen untersucht, u. a.:

ein Dock mit Massivsohle und Stahlspundbohlen als Seitenwände,

ein massives Trockendock und

ein im Untergrund verankertes Stahlbetondock.

Auf Grund sorgfältiger Gegenüberstellungen hinsichtlich der günstigsten Bauausführung, der konstruktiven Gestaltung und der Kosten wurde dem Bauherrn vorgeschlagen, für das Dock einen elastischen Stahlbetonkörper zu wählen, der mittels patentverschlossener Stahlkabelanker an eingerüttelten Stahlbetonankerblöcken unter Vorspannung gegen den Untergrund verankert wird.

Die Stahlbeton-Docksohle ist in Dockmitte 2 m dick. Die gleiche Dicke besitzen auch die Seitenwände.

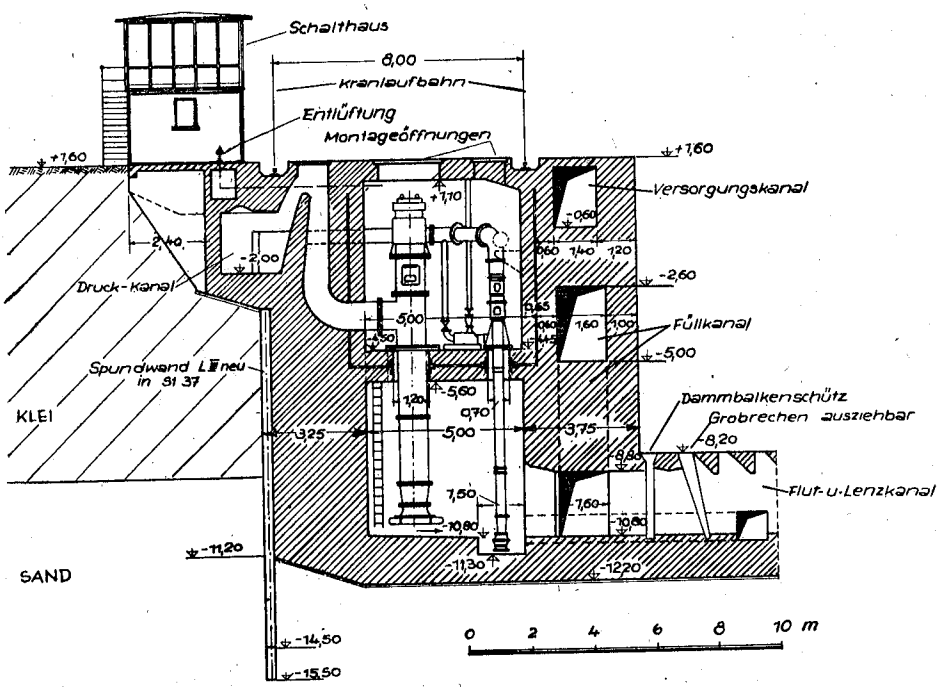


Bild 5c. Querschnitt durch das Pumpenhaus in Emden.

Bild 5 c Dock Emden — Querschnitt durch das Pumpenhaus

Die im Ausschreibungsentwurf vorgesehene innenliegende Voutenverstärkung am Fuß der Seitenwände mußte aus betrieblichen Gründen entfallen.

Für die Verankerung des gesamten Docks wurden 496 Anker eingerüttelt. Um eine durchgehende besonders dichte Lagerung des diluvialen Sandes unter der gesamten Docksohle sicherzustellen, wurden dazwischen noch besondere Verdichtungskerne durch Bodeneinrüttelung hergestellt.

Die durch die Sohle hindurchgeführten Stahlkabelanker wurden nach Fertigstellung und Erhärtung der Sohle mittels Pressen auf 105 t vorgespannt und durch Spezialseilköpfe gesichert. Diese Köpfe besitzen nachstellbare Muttern und gestatten daher jederzeit eine spätere Nachprüfung der eingebrachten Vorspannung bzw., sofern erforderlich, ein Nachspannen der Anker.

Die Stahlkabelanker ϕ 46 mm in St 140 sind siebenfach gegen Korrosion geschützt. Auch für den Korrosionsschutz der Ankereinbindestellen ist besonders gesorgt worden. Die Stahlkabelanker wurden in verschlossener Drahtseilkonstruktion von der Felten & Guilleaume, Carlswerk Eisen- und Stahl-AG in Köln-Mülheim hergestellt, wo auch die Kabelzerreißversuche stattfanden. Ferner wurden Belastungsproben an Ankerkörpern vorgenommen und einzelne eingebaute Anker des Bauwerkes mit 135 t probebelastet.

Die rechnungsmäßige Zugbelastung der Anker beträgt 95 t. Bei dieser Ankerkraft hat die Docksohle in allen Lastfällen Bodenkontakt.

Durch die Vorspannung auf 105 t wurden die zu erwartenden Kriecherscheinungen im Stahlkabelanker und in den Anschlüssen ausgeglichen und ein Anpressen der Docksohle an den Untergrund in erhöhtem Maße gewährleistet.

Der Fortschritt gegenüber den bisherigen Verankerungslösungen liegt in der Verspannung gegen den Baugrund und in der richtigen Ausnutzung der Wechselwirkung zwischen vorgespanntem elastischem Bauwerk und elastischem Baugrund.

Beim Entwurf wurden auch die Erfahrungen mit horizontalen Stahlkabelankern von Spundwänden herangezogen. Letztere sind erstmalig bei einer schweren Außenhafenspundwand in Wilhelmshaven angewendet worden und werden jetzt bereits häufig und mit Erfolg ausgeführt. Auf Grund der Versuche in der Hannoverschen Versuchsanstalt für Grundbau und Wasserbau, Franziusinstitut, wurde die minimale Füllzeit des Docks bis zur Mittelwasserlinie ohne Schiff auf rd. 60 Minuten und mit dem 38 000 dwt-Schiff auf rd. 40 Minuten herabgedrückt. Auch wurden die zu panzernden Bereiche durch Versuche ermittelt.

Als Pumpen wurden drei MAN-Schraubenschaufler mit einer Leistung von je 2 m^3/s gewählt. Mit diesen Pumpen kann das bis zur Mittelwasserlinie gefüllte Dock ohne Schiff in 2,6 Stunden und mit dem 38 000 dwt-Schiff in 2 Stunden geleert werden.

Die seitlichen Toranschläge wurden mit Stahlarmierungen ausgerüstet, die in Aussparungen nachträglich versetzt wurden.

Anmerkung:

Ausschreibungsentwurf:
Erstgenannter Berichter in Zusammenarbeit mit dem zweitgenannten Berichter.

Statisch-konstruktive Bearbeitung des Ausführungsentwurfes:
Ingenieurbüro des zweitgenannten Berichters.

Bauausführung:
Fa. Hochtief A.G., Essen (Federführung),
Fa. Köhncke & Co., Bremen,
Fa. Gebrüder Neumann, Norden.

Grundwasserabsenkung und Einrüttelung der Anker und des Untergrundes:
Fa. Johann Keller G.m.b.H., Frankfurt.

F. Seeschleuse IV. Einfahrt Wilhelmshaven (Anmerkung) (Bild 6 a — b)

Hier handelt es sich um eine Doppelschleuse für größte Seeschiffe mit folgenden Abmessungen:

Nutzlänge zwischen den Toren . . .	350,00 m
Einfahrts- und Kammerbreite	60,00 m
Drempeltiefe unter MHaW	16,75 m
unter MThw	17,18 m

Der Untergrund besteht aus diluvialem Feinsand unter einer 2—3 m dicken aluvialen Kleischicht.

Der Schleusenquerschnitt besteht aus zwei Seitenmauern und einer dazwischenliegenden nur gepflasterten Sohle. Die Seitenmauern bestehen bei einem Geländesprung von 19 m aus einer Stahlbetonwinkelmauer von nur 11 m Breite, die sich auf der Wasserseite unten gegen eine zwischen stählerne Spundwände

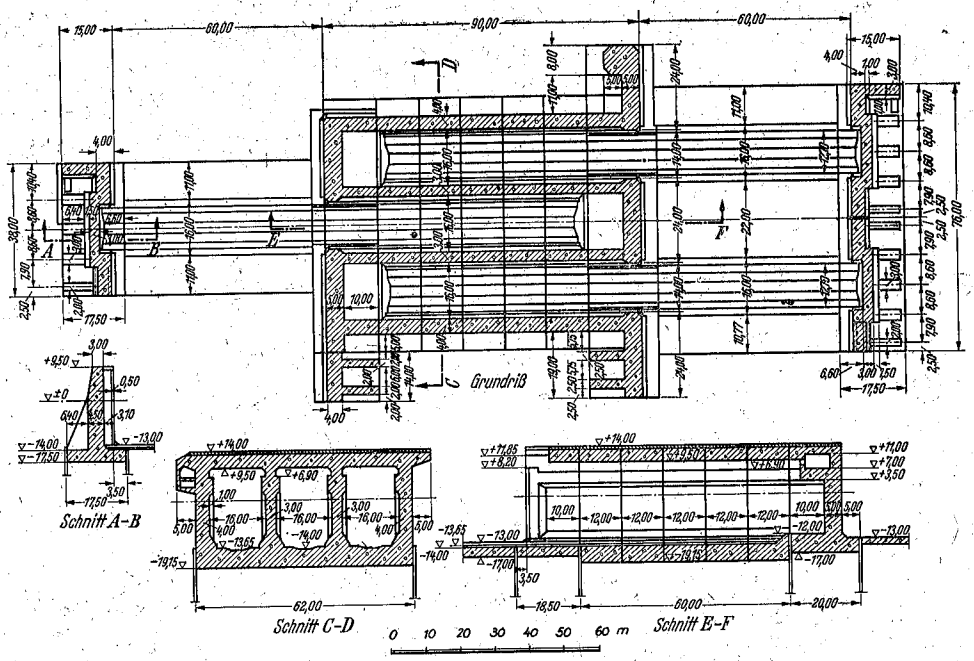


Bild 6b. Häupterbauwerk IV. Einfahrt Wilhelmshaven.

Bild 6 b Seeschleuse IV. Einfahrt Wilhelmshaven — Häupterbauwerk

gegossene Betonschürze von i. M. 1,75 m Dicke und hinten gegen Stahlpfahlblöcke IP 30 abstützt. Die Rammtiefe dieser Pfähle und deren zulässige Belastung wurden auf Grund eingehender Ramm-, Zug- und Druckversuche festgelegt. Es wurden dabei folgende Pfahllasten zugelassen:

Maximale Druckpfahlkraft . . .	rd. 90 t/Pfahl
Maximale Zugpfahlkraft . . .	rd. 50 t/Pfahl.

Die ausgeführte leichte Seitenwandkonstruktion hat sich auch unter der Einwirkung von 500-kg-Bomben, die hinter der Mauer eingeschlagen sind, einwandfrei bewährt.

Bild 6a. Seeschleuse IV. Einfahrt Wilhelmshaven

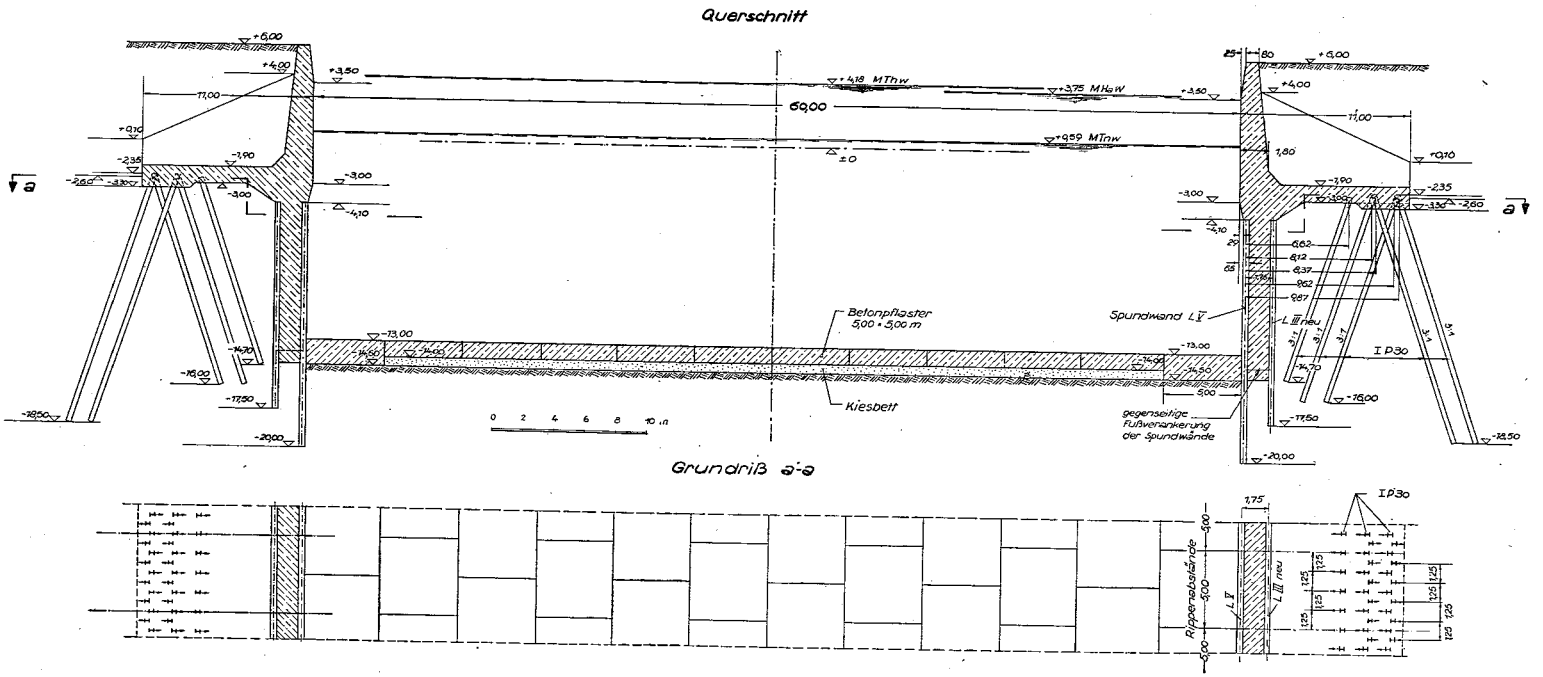


Bild 6 a Seeschleuse IV. Einfahrt Wilhelmshaven — Querschnitt und Grundriß

Die Sohlenpflasterung der Kammer wurde im allgemeinen 1 m und vor den Seitenmauern 1,5 m dick ausgeführt. Unter den dünneren Betonplatten ist eine durchlaufende Filterschicht angeordnet worden, um bei großen Differenzen zwischen Außenwasser- und Grundwasserspiegel ein Ausspülen von Sand und damit verbundenes Absacken der Platten zu verhindern. Die Betonplatten sind 5 × 5 m groß.

Die Betonpflasterplatten vor den Seitenmauern wurden bei der Ermittlung der unteren Stützung der Schürze nur als Auflast berücksichtigt. Das Außen- und Binnenhaupt der Doppelschleuse mit je drei Toren erhielt bombengeschützte Torkammern, die in dem Geländestreifen zwischen den benachbarten Schleusen Platz fanden. Die 4 m dicken Bombenschutzdecken gestatteten die Berechnung der Torkammern als geschlossene Rahmen.

Die Torkammern konnten durch vorgesetzte Dammbalkenverschlüsse jederzeit einzeln trockengelegt werden.

Die Füllzeiten der Schleuse betrugen:

Bei einer Wasserstandsdifferenz von 1,60 m = rd. 9 Min.
von 2,70 m = rd. 11 Min.
von 3,20 m = rd. 12 Min.

Anmerkung:

Statisch-konstruktive Bearbeitung:
Ingenieurbüro des erstgenannten Berichters.

Bauausführung:
Fa. Polensky & Zöllner.

III. Schleusen- und Docktore

A. Docktor Elbe 17 Hamburg (Anmerkung) (Bild 7)

Der Dockverschluß wurde als doppelkehrendes Riegeltor mit Seiten- und Aufsatzdichtung konstruiert.

Es hatte folgende Abmessungen:

Lichte Weite	60,00 m
Stützweite	62,00 m
Höhe	15,00 m
Breite	9,00 m

Der Bauherr forderte jedoch die zusätzliche Berücksichtigung, daß der unterste Riegel beschädigt wird und dann als tragendes Element ausfällt. Für diesen Katastrophenfall mußte ein Drempelanschlag vorgesehen werden, gegen den sich das Tor abstützen kann. Es mußten daher die unteren Querverbände so stark ausgebildet werden, daß sie die Wasserlast auf den Drempel und den Schwimmkasten übertragen konnten.

Anmerkung:

Statisch-konstruktive Bearbeitung, Modellversuche und Ausführung:
M.A.N., Werk Gustavsburg.

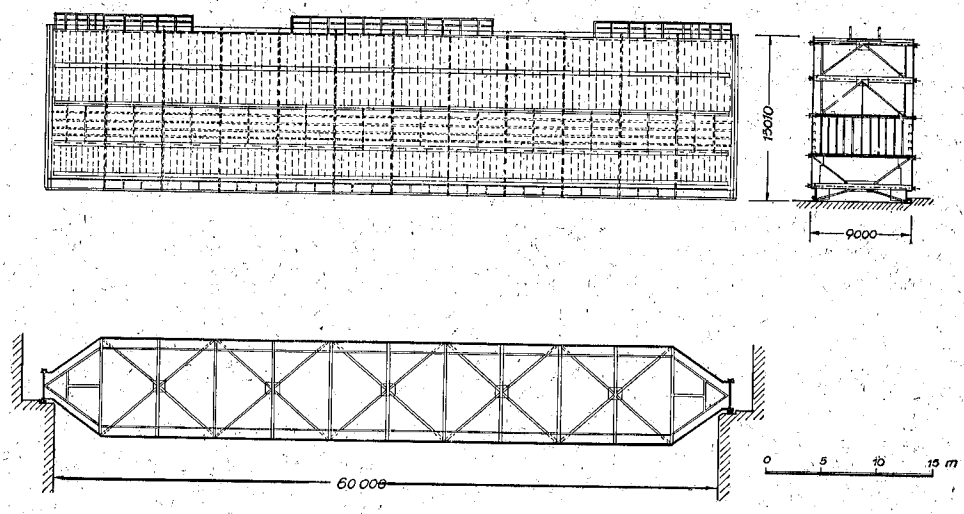


Bild 7. Docktor Elbe 17 Hamburg.

Bild 7 Docktor Elbe 17 Hamburg

B. Docktor VII Wilhelmshaven (Anmerkung)

Der kastenförmige Dockverschluß ist als reines Riegeltor mit Aufsatz- und Seitendichtung mit folgenden Abmessungen gebaut:

Breite	11,00 m
Höhe	10,30 m
lichte Weite	60,00 m
Stützweite rd.	62,00 m

Anmerkung:

Statisch-konstruktive Bearbeitung:
Ingenieurbüro Oberbaurat Bock, Köln.

Bauausführung:
August Klönne A.G., Dortmund.

C. Docktor Emden (Anmerkung) (Bild 8)

Als Dockverschluß wurde ein Schwimmtor in Riegelkonstruktion ausgeführt.

Torhöhe	9,82 m
größte Breite	4,80 m
lichte Weite	30,00 m
Stützweite	31,60 m
maximale äußere Wasserhöhe bei eingesetztem Tor	8,60 m

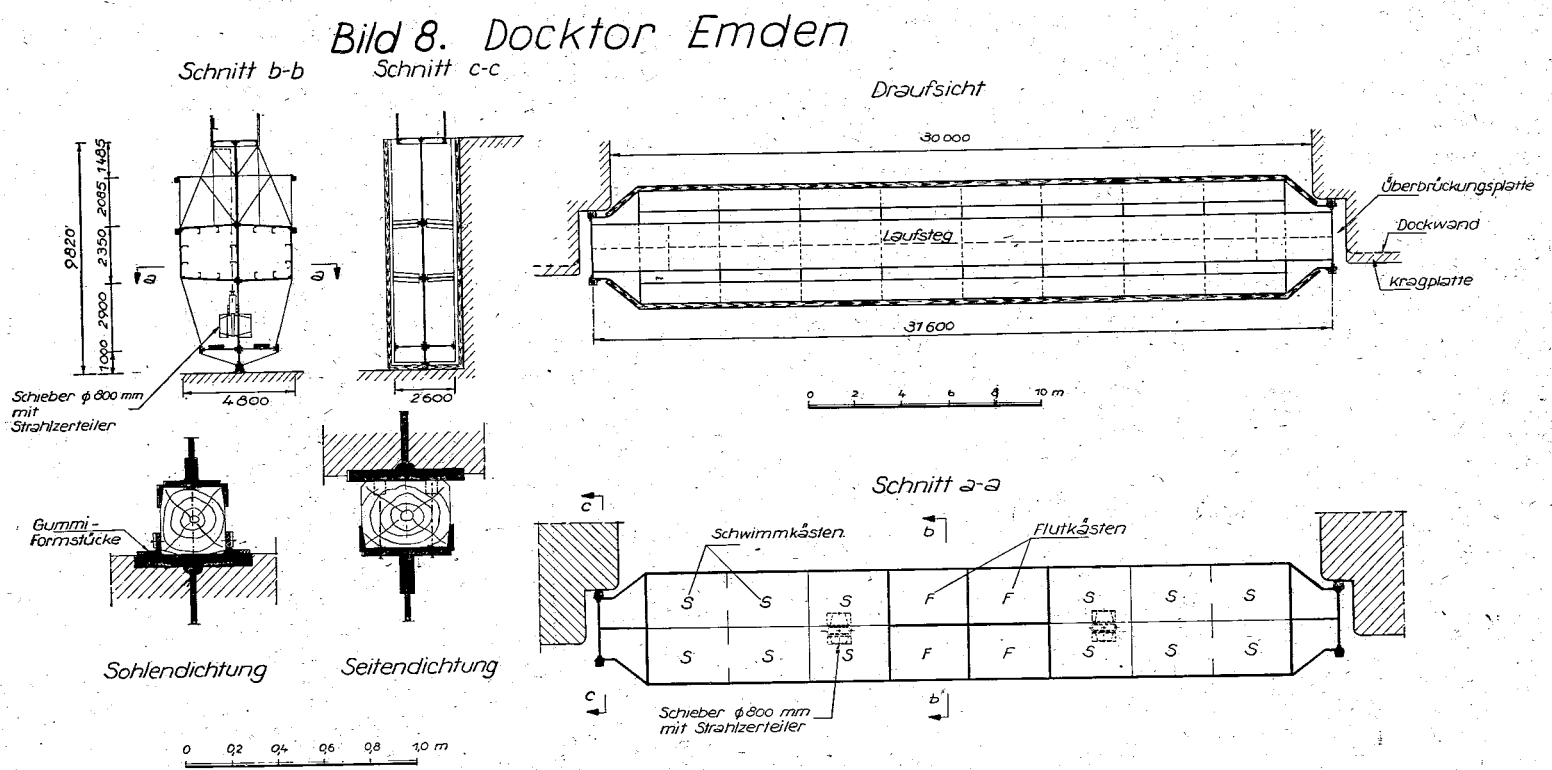


Bild 8. Docktor Emden

Bild 8 Docktor Emden

Das Tor setzt sich nur mit einem Dichtungsbalken, an dem eine zusätzliche Gummi-Feindichtung angebracht ist, auf die waagerechte Docksohle auf. Um das Torgewicht kleinzuhalten, ist ober- und unterhalb des Schwimmkastens nur eine in Tormitte angeordnete Stauwand vorhanden. Sie schließt sich an die Endschotte und den Dichtungsbalken an.

Die kräftigen Endschotten sind an ihren äußeren Stirnflächen mit 37 cm breiten Auflagerhölzen ausgerüstet. Diese übertragen den Auflagerdruck über einbetonierte Auflagerträger in die Stahlbetonanschläge. Sie dichten das Tor zugleich gegen die Auflagerfläche ab.

Das Tor ist doppelseitig kehrend ausgebildet. Es wurde aus St 37 in genieteter Konstruktion ausgeführt, mit einer für den einachsigen Spannungszustand zugelassenen Spannung von 1200 kg/cm². Für das Zusammenwirken von Normal- und Schubspannungen sowie für den zweiachsigen Spannungszustand wurden für die maßgebenden Beanspruchungen 1500 kg/cm² zugelassen.

Der untere Hauptträger dient gleichzeitig als Ballast. Das Tor hat Gewichtsstabilität und kann also auch beim Fluten des Docks nicht kentern. Das Lenzen der Flutkästen im Tor erfolgt mittels Pumpen, die durch Drehstrommotoren angetrieben sind.

Um die Füllzeit des Docks abzukürzen, sind im Tor zwei Flutungsschieber von 800 mm ⌀ mit Prellplatten zur Energievernichtung eingebaut.

Anmerkung:

Statisch-konstruktive Bearbeitung und Ausführung des Tores:
Dortmunder-Union Brückenbau A.G., Dortmund.

Entwurf der Durchlässe:
Dortmunder-Union Brückenbau A.G., Dortmund.

Modellversuche:
Franziusinstitut der T. H. Hannover.

D. Schleusentore III. Einfahrt Wilhelmshaven (Anmerkung) (Bild 9)

In den Jahren 1934 bis 1937 mußte infolge baulicher Schäden die große Doppelschleuse wieder instand gesetzt werden.

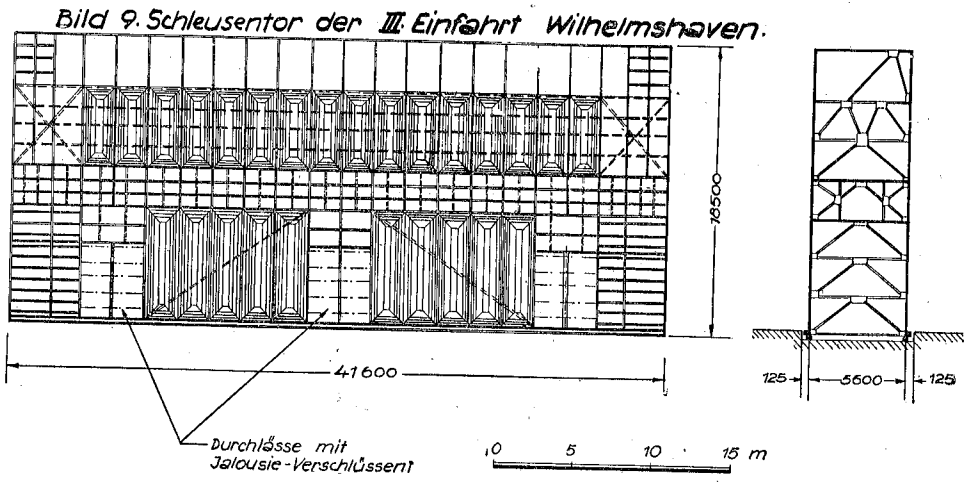


Bild 9 Schleusentor der III. Einfahrt Wilhelmshaven

Bei dieser Gelegenheit wurden die vier Schleusentore der Doppelseeschleuse von Ständertoren auf Riegeltore umgebaut. Hierbei wurden folgende weitere Verbesserungen durchgeführt:

1. Sämtliche Tore wurden auf die einheitliche lichte Weite von 40,00 m gebracht, so daß ihre Verwendung in allen Häuptern der Doppelseeschleuse möglich war.

2. Entlastung des Drempelanschlages infolge des Umbaues auf die Riegelkonstruktion.

3. Einbau von Durchläufen in den Toren, um dadurch auf Umläufe in den Häuptern verzichten zu können.

Für die Durchläufe in den Toren wurden gruppenweise angeordnete Jalousieklappen verwendet, deren Form und Einstellung auf Grund von Modellversuchen ermittelt wurden, um möglichst geringe Kolkwirkungen und Trossenzüge zu erreichen.

Der Antrieb der Tore erfolgte durch einen rückwärts angeordneten elektrischen Antrieb mittels Gelenkzahnstangen. Die Tore ruhten auf einem Ober- und Unterwagen.

Die Abmessungen der Tore betrugen:

Lichte Weite	40,00 m
Gesamtweite	41,64 m bzw. 40,72 m
Breite	6,00 m
Höhe	15,95 m

Anmerkung:

Tore und Jalousieverschlüsse wurden nach den Entwürfen und dem Ergebnis der Modellversuche der M.A.N., Werk Gustavsburg, hergestellt.

E. Schleusentore IV. Einfahrt Wilhelmshaven (Anmerkung) (Bild 10)

1. Die Torkonstruktion

Wie seinerzeit die Tore der Nordschleuse in Bremerhaven sind auch die Tore der Doppelschleuse Wilhelmshaven als reine Riegeltore ausgebildet mit folgenden Abmessungen:

Lichte Weite	60,00 m
Stützweite	63,00 m
Breite	12,00 m
Höhe	20,44 m.

Die Tore erhielten einen Ober- und Unterwagen mit Gelenkzahnstangenantrieb.

Der Dichtungsanschlag am Drempel besteht aus einer Dichtungsleiste aus Eichenholz, die an einem Federblech aus hochwertigem Stahl befestigt ist. Letzteres kann elastisch so weit nachgeben, daß die Durchbiegung des unteren Riegels aus der Wasserdruckbelastung aufgenommen werden kann.

Die Seitendichtung erfolgte durch Kantholzanschlag. Sämtliche Schiebetore der Doppelschleuse sind in den Abmessungen und in der Konstruktion völlig gleich. Sie unterscheiden sich nur in den Durchlässen und in deren Verschlüssen.

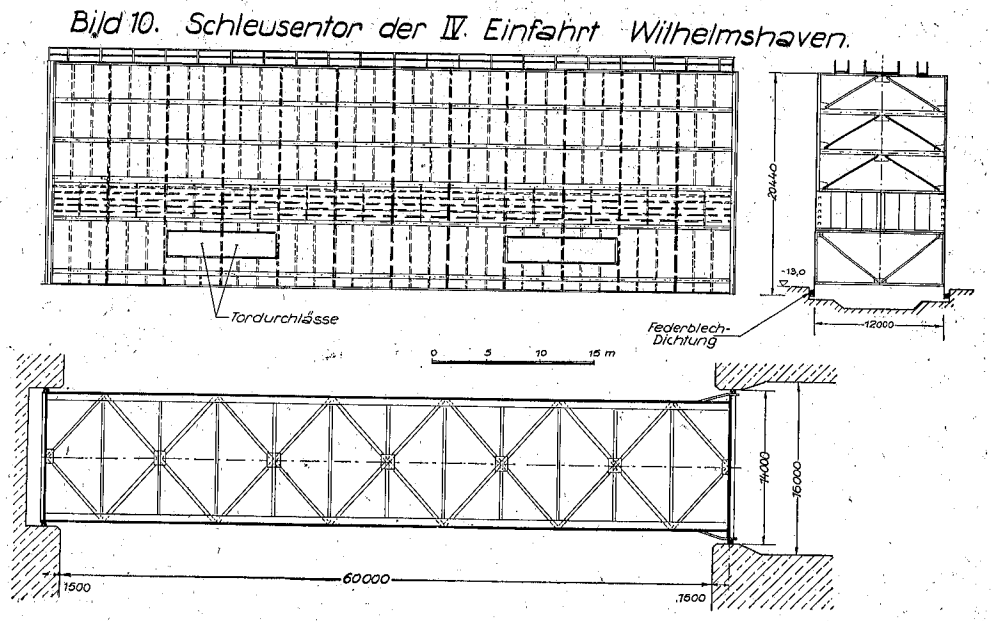


Bild 10 Schleusentor der IV. Einfahrt Wilhelmshaven

2. Durchlässe in den Toren

Von den sechs Toren der Schleuse wurden drei Tore mit Schlauchdurchlässen mit Drehsegmentverschlüssen und drei Tore mit Tosbeckendurchlässen und Schützenverschlüssen ausgerüstet. Diese neuartigen Durchlässe sind in ihrer Wirkungsweise durch Modellversuche eingehend überprüft worden. Für die Drehsegmentverschlüsse wurden folgende Betriebsvorschriften festgelegt:

1. Die Segmente werden bis zur vollständigen Freigabe der Durchflußöffnung mit gleichmäßiger Geschwindigkeit bewegt.

2. Im normalen Betrieb wird zuerst das oberwasserseitige Segment voll geöffnet und danach mit dem nach der Unterwasserseite hin liegenden Segment der Wasserdurchfluß gesteuert.

3. Beim Füllen der Schleuse wird das Segment nach unten gedreht, so daß der Wasserstrahl auf die Sohle der Schleusenkammer trifft, wobei die kleinsten Trossenzüge und die ruhigste Schiffslage erreicht werden. Da die Schleusensohle befestigt ist, besteht hierbei keine Kolkgefahr.

4. Beim Absenken des Schleusenwassers wird das Segment nach oben gedreht, so daß der Wasserstrahl nach oben abgelenkt auf das Wasserpolster des Unterwassers trifft. Eine übermäßige Auskolkung der nichtbefestigten Sohle tritt dabei nicht auf.

5. Alle Segmentantriebe sind so eingerichtet, daß die Bewegung der Segmente sowohl nach oben als auch nach unten vorgenommen werden kann.

Auch für Durchlässe mit Schützenverschlüssen wurden ähnliche Vorschriften festgelegt. Hierbei konnte berücksichtigt werden, daß durch die innerhalb dieser

Durchlässe befindlichen Toskammern die Energie des hindurchströmenden Wassers weitgehend vernichtet wird. Besonders eingebaute Leitwinkel sorgen für eine genügende Verteilung des austretenden Wasserstrahles.

Anmerkung:

Statisch-konstruktive Bearbeitung der Tore:
Ingenieurbüro Oberbaurat Bock, Köln.
Ausführung von je zwei Toren durch:
Dortmunder-Union Brückenbau A.G., Dortmund,
M.A.N., Werk Gustavsburg,
August Klönne A.G., Dortmund.
Segment-Tordurchlässe nach den Entwürfen und auf Grund der Modellversuche der M.A.N., Werk Gustavsburg.
Schützenverschlüsse nach den Entwürfen der Dortmunder-Union Brückenbau A.G., Dortmund, und den Modellversuchen des Flußbau-Laboratoriums der T. H. Karlsruhe.