

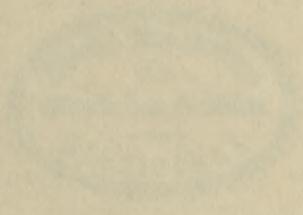


Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000305834

THE UNIVERSITY OF CHICAGO



x
2456

DER
NEUE HAFEN IN CUXHAVEN.

VON

HUGO LENTZ
WASSERBAUINSPECTOR.

F. Nr. 22093.



MIT DREI TAFELN.



BERLIN 1898.
VERLAG VON WILHELM ERNST & SOHN.
(VORM. ERNST & KORN).

x
2456

DER
ZEITUNG FÜR BAUWESEN

Sonderdruck aus der Zeitschrift für Bauwesen, Jahrgang 1898.

Alle Rechte vorbehalten.



III 33578

Akc. Nr. 3825/50

Der alte Cuxhavener Hafen war ursprünglich der kunstlose Abfluß der Ritzebütteler Entwässerungsschleuse und lief bei Niedrigwasser fast trocken. Bei der Fluthgröße von 2,8 m konnte er deshalb höchstens Schiffe von 3 m Tiefgang aufnehmen. Allmählich wurden die Ufer des Hafens durch Bohlwerke befestigt, und im Jahre 1792 versah Woltman ihn mit einer Spülschleuse, die seine Tiefe in einer schmalen Rinne um einen Meter vergrößerte. Dieser Zustand ist im Jahrgange 1868, S. 22, dieser Zeitschrift beschrieben worden.

Im Jahre 1868 wurde der Hafen vergrößert, ringsum mit neuen Bohlwerken versehen und durch einen Dampfbagger auf die Tiefe von 4 m unter Niedrigwasser am Eingange, bis abnehmend auf 2 $\frac{1}{2}$ m im oberen Theile gebracht. Dadurch war er in den Stand gesetzt, Schiffe von 5 m Tiefgang und darüber aufzunehmen. Bei dem geringen Verkehr des Hafens genügte diese Tiefe für Sommerzeiten, allein im Winter, wenn die Elbe durch Eis gesperrt war, genügte sie nicht, weil sie für große Fahrzeuge zu gering war. Diese waren deshalb in solchen Fällen den Gefahren des Eisganges preisgegeben, wodurch häufig Beschädigungen und selbst Verluste von Schiffen verursacht wurden. Dieser Uebelstand steigerte sich mit dem zunehmenden Tiefgange der Schiffe, und schon in den vierziger Jahren, und später wiederholt, liefs man Entwürfe für große Dockanlagen und dergleichen aufstellen, die aber sämtlich nicht zur Ausführung gelangten. Die Arbeiten des Jahres 1868 waren gleichsam Nothbauten, bestimmt, dem dringendsten Bedürfnis des Augenblicks abzuweichen.

Im Gründerjahr 1872 bildete sich eine Gesellschaft, die einen großen Tidehafen mit anschließendem Dock durch einen englischen Ingenieur erbauen lassen wollte. Indes, nachdem ein großes Loch ausgegraben und das Ufer auf der Stelle des jetzigen neuen Hafens ungefähr um 150 m hinausgeschoben worden war, versiegten die Gelder, und Hamburg mußte das von der Gesellschaft gestellte Haftgeld dazu verwenden, die unfertigen Arbeiten in einen sturmfluthsicheren Zustand zu versetzen.

Bald darauf nahm Hamburg die Sache selbst wieder in die Hand und liefs im Jahre 1883 Entwürfe anfertigen zu einem „Noth- und Eishafen“ in Cuxhaven. Dazu kam etwas später noch der Entwurf zu einem Hafen für Fischerfahrzeuge, der sich wegen Ueberfüllung des alten Hafens ebenfalls als dringendes Bedürfnis herausgestellt hatte.

Begründung der Entwürfe.

Bei der Bearbeitung dieser Entwürfe trat die Nothwendigkeit hervor, das bisher unregelmäßige Ufer*) in der Nähe des alten

*) Nähere Mittheilungen über dieses Ufer sind in „Hamburg und seine Bauten“ 1890 enthalten.

und der neuen Häfen günstiger zu gestalten. Der alte Hafen tritt bedeutend gegen die westlich von ihm belegene Bucht vor, wodurch während der Ebbe störende Wirbel und während der Fluth heftige Seitenströmungen, senkrecht zur eigentlichen Stromrichtung, erzeugt wurden, die das Anlegen von Schiffen an den Hafenkopf „Die Alteliebe“ erschwerten oder ganz verhinderten. Dasselbe wäre in höherem Grade bei dem neuen Hafen eingetreten, denn dieser würde eine östlich anstossende Bucht abgeschlossen haben und dadurch ebenfalls die Veranlassung von lästigen und gefährlichen Unregelmäßigkeiten in der Strömung geworden sein.

Paralleldamm. Deshalb wurde ein Paralleldamm entworfen, der sich in einer flachen Curve von einem festen Punkte 500 Meter oberhalb des neuen Hafens bis 200 m unterhalb des alten Hafens in einer Länge von 1500 m erstreckte (Abb. 1 Bl. 1). Dieser Damm wurde im Jahre 1886 bewilligt und in den folgenden Jahren mit einem Kostenaufwande von einer Million Mark zur Ausführung gebracht.

Art und Richtung des Hafens. Schon bei dem Entwürfe des Paralleldammes mußte man sich entscheiden, ob der neue Hafen ein Tide- oder ein Dockhafen werden und ob er rechtwinklig oder schräg zum Strome gerichtet sein sollte. Man entschied sich für einen rechtwinklig zum Strome gerichteten Tidehafen und zwar aus folgenden Gründen. Für einen Noth- und Eishafen ist leichte Zugänglichkeit die erste Bedingung, der durch einen Dockhafen, namentlich in Eiszeiten, nicht genügt werden kann. Bei einer mittleren Fluthgröße von 2,8 m fallen überdies die Vorzüge des Dockhafens: Niedrigere Mauern, geringerer Wechsel im Wasserstande und dadurch bequemere Befestigung der Schiffe, dem Tidehafen gegenüber nicht so sehr ins Gewicht, da sie durch die kostspielige Schleuse und ihren kostspieligen Betrieb sehr theuer erkauft werden müssen. Unter anderen Verhältnissen kommen noch manche andere Rücksichten in Frage, auf die hier nicht weiter eingegangen zu werden braucht.

Nachdem also ein Tidehafen gewählt worden war, mußte die Richtung, die ihm gegeben werden sollte, bestimmt werden. Die Elbe fließt vor Cuxhaven von Südost nach Nordwest, und querab von dieser Richtung, zwischen Ostnordost und Nordnordost, ist das feste Land nur acht bis zehn Seemeilen entfernt; bei Niedrigwasser sogar nur 1200 m. Daraus folgt unmittelbar, daß die in den Hafen tretenden Wellen am kleinsten werden, wenn seine Richtung ungefähr querstroms ist. Wollte man die Hafenrichtung schräg stromauf oder stromab wählen, so müßte sie etwa Ostsüdost oder Nordnordwest sein. Beide Richtungen stimmen so nahe mit der Stromrichtung überein, daß stromauf oder stromab wehende Stürme einen unerträglichen Seegang im Hafen erzeugen würden. Namentlich die nach

Nordnordwest gerichtete Mündung würde in dieser Beziehung verhängnisvoll sein, denn Stürme aus nordwestlicher Richtung, die von Sturmfluthen begleitet zu sein pflegen, würden kein Schiff im Hafen ohne ernstlichen Schaden davonkommen lassen. Dabei ist noch zu bemerken, daß die Richtung Nordnordwest unmittelbar in die offene Nordsee führt und deshalb die Ausbildung der Wellen im höchsten Grade begünstigt. Diese Erwägungen gewinnen noch an Bedeutung, wenn man die Häufigkeit der Stürme aus den verschiedenen Richtungen in Betracht zieht.

In den Jahren 1843 bis 1892 in Cuxhaven beobachtete Stürme:

Richtung	S—W	WNW—N	NNO u. NO	ONO—OSO	SO u. SSO
Anzahl	25	47	2	13	0

Von diesen 87 Stürmen wehten 25 aus dem Lande, erzeugten also überhaupt keinen Seegang, 47 hätten die Wellen in einen stromabwärts und 13 in einen stromaufwärts gerichteten Hafen geworfen; querstroms dagegen wehten nur zwei.

Unter diesen Umständen konnte der stromabwärts gerichteten Mündung unmöglich der Vorzug gegeben werden, und auch die stromaufwärts gerichtete begegnete ähnlichen Bedenken, denn wenn auch der Seegang, obgleich keineswegs unbedeutend, weniger zu fürchten war, so war es um so mehr die Ebbströmung, die mit einer Geschwindigkeit von drei bis vier Knoten unmittelbar vor dem Hafen, im Hafen mächtige Wirbelströmungen erzeugt hätte.

Wenn demnach die Rücksicht auf den Seegang im Hafen seine Richtung querstroms forderte, so führte die Betrachtung der Eisverhältnisse zu demselben Ergebniss. Das Eis der Elbe wird vor Cuxhaven niemals fest, sondern treibt mit der Strömung auf und ab, wobei es in auffallender Weise vom Winde beeinflusst wird. Der Landwind treibt es weg, und man sieht nur offenes Wasser. Bei auflandigen Winden dagegen ist die Elbe gedrängt voll von Eis, und bei starken Winden aus nordöstlicher Richtung wird es bisweilen so fest zusammengedrückt, daß selbst die größten Dampfer macht- und steuerlos darin umhertreiben. Unter solchen Umständen können Schiffe nicht in den Hafen kommen. Setzt aber der Wind um, von Nord oder Ost nach Süd oder West, dann wird das Eis in wenigen Stunden wegeweht, und Schiffe, die vor der Elbe diesen Zeitpunkt erwartet haben, können bis Cuxhaven aufsegeln und in den Hafen laufen, vorausgesetzt, daß auch dieser eisfrei ist. Das ist aber nur bei einem Tidehafen möglich, dessen Richtung mit der Windrichtung annähernd übereinstimmt. In dem Falle kann das Eis durch Dampfer leicht zerbrochen werden und wird vom Winde in den offenen Strom hinausgetrieben. Da im Winter die vorherrschende Windrichtung Südwest ist, so ist auch in Bezug auf den Eisgang die günstigste Hafenrichtung Nordost.

Zieht man endlich die Oertlichkeit in Betracht, so findet man, daß die gewählte Hafenrichtung, NO 7° N, den großen Vorzug hat, eine bequeme und günstige Eisenbahnverbindung mit dem Bahnhofe zu gestatten, und in der That war diese Rücksicht insofern ausschlaggebend, als man andernfalls vielleicht noch eine geringe Drehung nach Osten vorgenommen hätte.

Hafenform. Es ist indes nicht zu verkennen, daß die Hafenrichtung querstroms auch ihre Nachteile hat. Bei jeglicher Hafenrichtung muß darauf gerechnet werden, daß das einlaufende Schiff eine Drehung erfährt, während es aus dem strömenden Wasser des Flusses in das stillstehende Wasser des Hafens übergeht; aber bei der querstroms gerichteten Mündung

ist außerdem die Schwierigkeit vorhanden, die Mündung überhaupt zu treffen, denn während das Schiff darauf zufährt, wird es von der Strömung auf- oder abwärts getrieben, und wenn die Abtrift nicht richtig berechnet wird, kann die Mündung entweder ganz verfehlt oder doch in falscher Richtung erreicht werden, wodurch das Schiff in Gefahr geräth, mit den Hafenerken in Berührung zu kommen. Um diese Gefahr thunlichst zu verringern, ist die Hafebreite unmittelbar hinter der 100 m breiten Einfahrt auf 165 m vergrößert, und sie nimmt dann weiter bis zum Ende des 300 m langen Vorhafens bis auf 250 m zu. Dadurch wird erreicht, daß die Hafemündung bis zu einem gewissen Grade gleichzeitig stromauf und stromab gerichtet ist, und das Beispiel des alten Hafens beweist, daß geschickte Schiffsführer selbst unter ungünstigeren Umständen ihre Schiffe sicher in den Hafen zu bringen vermögen. Der alte Hafen hat eine Mündung von 62 m Weite und erweitert sich im Innern nur wenig, aber man sieht Raddampfer von 70 m Länge zu allen Zeiten der Tide in den Hafen laufen, ohne Schaden zu nehmen.

Nichtsdestoweniger durfte man nicht voraussetzen, daß große Fahrzeuge von 100 bis 200 m Länge unter allen Umständen unmittelbar in den Hafen einlaufen würden; starker Ebbstrom oder Eisgang oder heftige ungünstige Winde konnten sie daran verhindern, und es mußte ihnen deshalb Gelegenheit geboten werden, außerhalb des Hafens mit dem Lande in Verbindung treten zu können.

Hafenköpfe. Dazu dienen die Hafenköpfe. Diese haben zunächst den Zweck, die einzelnen Theile der Hafenanlage nach der Stromseite abzuschließen, nämlich, von außen anfangend, zuerst das Uferdeckwerk, dann den Hafenschutzdeich, darauf die Kaje und endlich die den Hafen einfassende Mauer (Abb. 2 u. 5 Bl. 1). Um sie auch zum Anlegen und Befestigen großer Schiffe zu befähigen, sind sie in den Strom bis zur Tiefe von 11,5 m unter Niedrigwasser vorgeschoben und mit Pollern (Abb. 14 bis 16 Bl. 2) und Streichpfählen (Abb. 2, 3, 17, 19 u. 20 Bl. 3) versehen. Unterhalb des westlichen Hafenkopfes, auf dessen Benutzung vorzugsweise gerechnet werden muß, sind außerdem landwärts vier Pfahlbündel gerammt (Uebersichtsplan Bl. 1) und durch eiserne Brücken mit dem Hafenkopfe verbunden, damit Schiffe, die den 120 m langen Hafenkopf überragen, sicher befestigt werden können. Selbstverständlich ist auch genügender Raum vorhanden, um Reisende mit ihrem Gepäck landen oder an Bord nehmen zu können, und durch die mannigfaltigen Zwecke, denen die Hafenköpfe an ihrer vorgeschobenen Stelle zu dienen haben, werden sie zu den wichtigsten und schwierigsten Bauwerken des ganzen Hafens.

Hafengröße. Bei einer neuen Verkehrsanlage ist es kaum möglich, von vorn herein ihre Größe richtig zu wählen, und man thut besser, sie knapp zu bemessen, aber gleich eine Vergrößerung ins Auge zu fassen. Auf den Vorhafen trifft das in diesem Falle nicht zu, denn er muß jedenfalls groß genug sein, um genügenden Raum für das Einlaufen und Wenden der Schiffe zu bieten, obgleich er dadurch verhältnißmäßig sehr kostspielig wird. Er dient indes zugleich als Zufahrt für ein Trockendock, dessen Ausführung zwar der Zukunft vorbehalten bleibt, das aber doch durch Offenhaltung seiner Einfahrt schon vorbereitet werden sollte.

In den Vorhafen münden zwei 80 m breite Arme, die zwischen sich eine 90 m breite Kaje lassen. Die Länge jedes der beiden Arme kann auf 600 m gebracht werden; der östliche

ist jedoch vorläufig nur durch seinen Anfang angedeutet, und der westliche soll 300 m lang werden. Die Arme und die Einfahrt zum Trockendock sind durch Spundwände mit aufgesetzten Steinböschungen einstweilig abgeschlossen. In der geplanten Ausdehnung wird der Hafen eine nutzbare Wasserfläche von 8,7 ha bieten und für das nächste Bedürfnis vermuthlich hinreichen. Durch den Ausbau der Arme würde seine Größe auf 15,9 ha und seine Uferlänge von 1200 auf 3000 m wachsen.

Hafentiefe. In dem Entwurfe von 1883 war eine Tiefe von 6,3 m unter mittlerem Niedrigwasser für den Hafen vorgeschlagen. Nachdem aber inzwischen der Tiefgang der größten Kauffahrteischiffe auf 27 englische Fuß oder 8,23 m gewachsen war, wurde eine Tiefe von 8 m für erforderlich gehalten. Aber auch diese erschien noch zu gering, wenn man berücksichtigte, daß Niedrigwasser von 1 m unter der mittleren Höhe nicht zu den Seltenheiten gehören und daß von der hergestellten Tiefe stets ein Theil durch Aufschlickung wieder verloren geht. Deshalb wurde schließlich die Hafentiefe auf 9 m unter mittlerem Niedrigwasser festgesetzt. Welches Maß die Aufschlickung bei dieser bedeutenden Tiefe — 5 m größer als im Eingange des alten Hafens — und bei der 100 m weiten Einfahrt erreichen würde, mußte abgewartet werden; sehr wahrscheinlich mehr als im alten Hafen, der jährlich etwa 1 m durch Schlickfall an Tiefe verliert.

Höhe der Mauern. Die großen Schwankungen des Wasserspiegels, die sich in den äußersten Fällen zwischen 6,3 m über und 2,37 m unter Niedrigwasser bewegen, verhindern eine jederzeit zweckmäßige Höhe für die Mauern zu wählen. Man kann sich nur auf mittlere Zustände einrichten, darf aber dabei die selteneren nicht außer acht lassen. Der mittlere Wasserstand ist 1,5 m über Niedrigwasser, und die Deckshöhe eines großen Schiffes kann man zu 3,5 m über dem Wasserspiegel annehmen. Daraus ergibt sich die Mauerhöhe zu 5 m über Niedrigwasser, die bei den gewöhnlichen Wasserständen dem Bedürfnis entsprechen wird. Auch bei den höchsten Sturmfluthen ist sie insofern genügend, als sie gestattet, die in der Höhe der Eisenbahnwagen liegenden Güterschuppen wasserfrei zu legen, etwa auf 6,4 m über Niedrigwasser. Dagegen hat sie den Nachtheil, daß die Schiffe bei hohen Sturmfluthen die Mauer hoch überragen, wodurch sehr zuverlässige Befestigungspunkte auf der Windseite des Hafens in gehörigem Abstände von der Mauer nothwendig werden. Diesem Zwecke dienen schwere gußeiserne Poller von 40 cm Durchmesser (Abb. 12 u. 13 Bl. 2), die 12 m von der Vorderkante der Mauer entfernt und in einem Betonklotz von 10 cbm Inhalt vergossen sind. Wegen dieser Poller oder Landfesten können Güterschuppen oder andere Gebäude erst in einem Abstände von 13 m von der Mauer errichtet werden.

Von der Mauer landwärts steigen die Kajen mit 1:60 bis zur Deichhöhe von 6,8 m über Niedrigwasser an, werden aber gegen die Elbe noch durch einen Deich von 8,0 m Höhe über Niedrigwasser abgeschlossen, um die Wellen auch bei den höchsten Sturmfluthen vom Hafengelände abzuhalten. Diese Deiche setzen sich in dem Mauerwerk der Hafenköpfe bis zur Hafenmündung fort und schützen dadurch den Hafen, soweit es möglich ist, gegen den Seegang.

Eisenbahngleise. Um den Hafen durch Eisenbahngleise mit dem Bahnhofe verbinden zu können, müssen zwei Deiche gekreuzt werden. Der erste, der Neufelder Deich, liegt 2 m

höher als die Hafenkaje, muß also um dieses Maß eingeschnitten werden. Um den dadurch aufgehobenen Deichschutz wieder herzustellen, muß ein neuer Deich längs der Gleise, die auf den beiden Seiten des westlichen Hafenarmes liegen, geschüttet werden bis zu dem Punkte, an dem die allmählich steigenden Gleise die Deichhöhe erreicht haben. An diesem Punkte wird der Deich quergeführt, und die Gleise beginnen nach dem Bahnhofe hin zu fallen, wobei sie den etwas niedrigeren zweiten Deich, der den Bahnhof auf seiner nördlichen Seite begrenzt, in Höhe der Deichkrone überschreiten. Ein Blick auf den Uebersichtsplan Abb. 1 Bl. 1 wird diese etwas verwickelte Sachlage klar machen.

Durch diese Verlegung des Neufelder Deiches wird die zwischen den beiden Gleisen liegende Landfläche, die nur wenig über mittlerem Hochwasser liegt, den Sturmfluthen wieder zugänglich; um auch ihre Füllung und Entleerung ungefährlich zu machen, wird sie durch einen breiten Graben mit dem Hafen verbunden. Durch diesen Graben, über den am Hafen eine Fahrbrücke führt, wird das Wasser allmählich der Fläche zugeleitet und läuft durch ihn ebenso allmählich wieder ab.

Entwurf der einzelnen Bauwerke.

Bodenbeschaffenheit. Die Ergebnisse der Bohrungen, die Untersuchungen über den in der Tiefe zu erwartenden Wasserzudrang und die Versuche über die Tragfähigkeit des Baugrundes sollen hier im Zusammenhange mitgeteilt werden, Dabei wird nicht die zeitliche, sondern diejenige Reihenfolge beobachtet werden, die den vollständigsten Aufschluß über die einschlägigen Verhältnisse zu geben vermag.

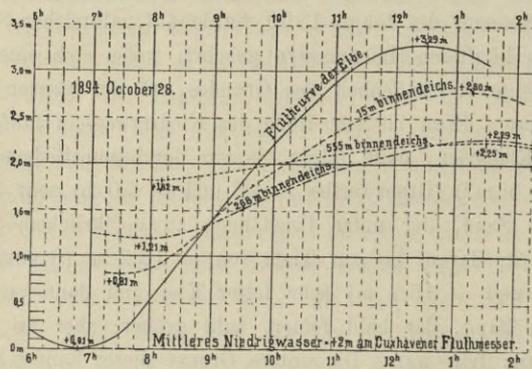
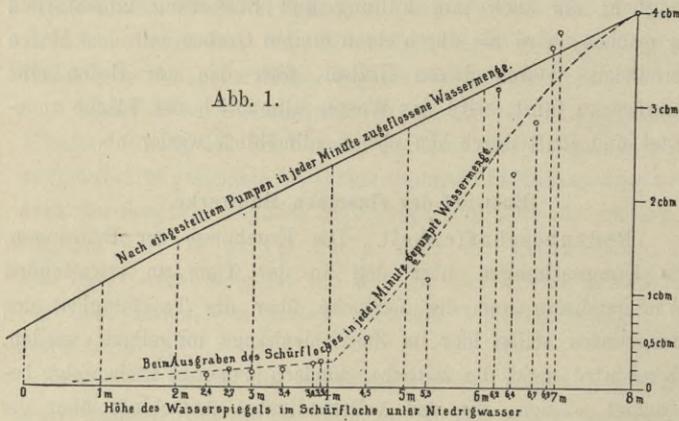
Im Sommer des Jahres 1890 wurde auf zahlreichen Stellen unter den künftigen Hafenmauern gebohrt, wobei sich eine sehr gleichmäßige Beschaffenheit des Grundes auf der ganzen Baustelle ergab. Etwa bis zur Höhe des Niedrigwassers fand man leichten Kleiboden, dann folgte bis zur durchschnittlichen Tiefe von — 5,5 m¹⁾ (Grenzwerte — 4,8 und — 6,0 m) sehr feiner, bläulicher Sand, der unter Umständen zu gefährlichem Trieb- sande wird; darauf bis zur Tiefe von — 13,2 m (Grenzwerte — 12,2 und — 15,2 m) sehr fetter Klei und dann scharfer, gelblicher Sand, der bald feiner, bald gröber, aber an keiner Stelle ganz fein war. Die untere Grenze dieses Sandes ist an zwei Stellen auf — 33,5 und — 34,8 m erbohrt worden, und man darf annehmen, daß sie überall in ähnlicher Tiefe sich findet. In oder unmittelbar unter dem Klei lagen vereinzelt dünne Moorschichten, die aber fest waren und unbedenklich schienen.

Die Bohrungen waren mit Hilfe von Wasserspülung gemacht, und der Klei kam deshalb in kleinen Stücken oder als Schlamm zu Tage, wobei man über seinen eigentlichen Festigkeitszustand im Dunkeln blieb. Um diese Unsicherheit zu beseitigen, wurde im October 1890 mit dem Ausgraben eines Schürfloches bis zu der damals geplanten Tiefe der Hafensohle von — 8 m begonnen.

Das Schürfloch lag in der Südecke des künftigen Hafens, also in dem im Jahre 1872 gegrabenen „Hafenloch“. Mit der gewonnenen Erde dämmte man sich gegen das Wasser des Hafenloches, das ungefähr 1 m über Niedrigwasser stand, ab, und die Arbeit ging anfänglich sehr glatt von statten, da man vom

1) Alle Höhenangaben sind auf mittleres Niedrigwasser bezogen. Das Niedrigwasser ist zu 2 m über dem Nullpunkt des Cuxhavener Fluthmessers oder etwa zu 1,6 m unter N. N. angenommen.

Wasser nur wenig zu leiden hatte. In der Tiefe von — 4 m brauchte man nur 0,3 cbm in jeder Minute zu pumpen; dann aber sprang an einem der Gerüstpfähle, die die Dampfmaschine trugen, eine Quelle auf, und der Wasserzudrang wuchs sehr schnell mit der Tiefe. 22 Tage hindurch, vom 26. Februar bis 19. März 1891, mußten bei einem Wasserstande von — 7 m in jeder Minute 3,79 cbm gepumpt werden, und wenn das Wasser nicht über — 8 m steigen sollte, war die Bewältigung von 4 cbm Wasser in jeder Minute notwendig. Die Kosten des Schürfloches wurden dadurch unerwartet hoch und betragen einschließlic der in der Tiefe angestellten Belastungsversuche 30 600 *M.*, womit übrigens der Gewinn an Kenntnissen nicht zu theuer bezahlt worden war. Man hatte nämlich nicht nur den Klei überall gleichmäßig und sehr fest befunden; sondern es war auch zur



Gewissheit geworden, daß es unmöglich sein würde, die Mauern im Trocknen aufzuführen, denn in einer großen Baugrube hätte man nicht nur den Wasserzudrang fürchten müssen, sondern auch die Verschlechterung des Baugrundes, die die aufbrechenden Quellen durch die Entführung des Sandes aus der Tiefe unfehlbar bewirkt haben würden.

In der beistehenden Text-Abb. 1 sind die beim Ausgraben des Schürfloches in den verschiedenen Tiefen gepumpten Wassermengen, sowie die nach Einstellen des Pumpens zugeflossenen angegeben.

Noch ungünstigere Aussichten für eine Trockenlegung der Baugrube eröffneten sich durch die Brunnen, die zur Gewinnung von süßem Wasser erbohrt wurden. Diese bestanden aus zwei- oder dreizölligen Röhren, die bis unter den Klei, etwa bis — 20 m, reichten und an jeder Stelle reichliches und vollkommen süßes Wasser lieferten. In den Röhren stieg und fiel das Wasser wie in der Elbe, nur in geringerem Maße, wie die in Text-Abb. 2 dargestellte Beobachtung vom 28. October 1894, vollständiger als andere früher angestellte, beweist.

Man sieht, daß die Fluthgröße von 3,28 m in der offenen Elbe etwa 50 m davon und 15 m vom Deiche entfernt auf 1,99 m gesunken ist und daß sie bis 268 und 555 m vom Deiche auf 1,08 und 0,43 m abgenommen hat; zugleich verspäten sich die Eintrittszeiten von Hoch- und Niedrigwasser landwärts. Wenn die Oberkante der Röhren niedriger lag als der Wasserstand in der Elbe, so bildeten sie einen natürlichen Springbrunnen.

Diese Erscheinungen lassen erkennen, daß man es hier mit einem unterirdischen Nebenfluß der Elbe zu thun hat, den man niemals leer pumpen könnte, weil er sich jederzeit durch Elbwasser ergänzen kann. Wahrscheinlich führt er das Tagewasser von den die Marsch begrenzenden Haidflächen dem Strome zu, was dadurch noch wahrscheinlicher wird, daß man auf diesen kaum irgendwo Wasserläufe findet.

I. Belastungsversuch.

Am 24. September 1891 wurde in der Elbe, auf der Stelle eines der Hafenköpfe, ein Dampfer verankert und ein Pfahl von 16 m Länge daneben gestellt. Die Tiefe betrug 11,5 m bei Niedrigwasser. Die Kleischicht hatte hier ungefähr noch 2 m Dicke. Der Pfahl von 30 cm Durchmesser, 707 qcm Querschnitt, war unten rechtwinklig abgeschnitten und mit Ketten belastet. Seine Senkungen wurden an einer Stange gemessen, die neben ihm fest in den Grund eingestossen worden war. Bei nachstehenden Gewichtsangaben ist der Gewichtsverlust im Wasser sorgfältig berücksichtigt und abgezogen worden. Es ist vorausgesetzt, daß das Gewicht des Pfahles nebst Ketten keine Senkung des Pfahles hervorgebracht hat.

	Belastung		Senkung		Druck kg/qcm
	einzel kg	zusammen kg	einzel mm	zusammen mm	
Eigengewicht		478	0	0	0,68
	162	640	3	3	0,91
	162	802	2	5	1,13
	161	963	1	6	1,36
	162	1125	2	8	1,59
	161	1286	3	11	1,82
	162	1448	3	14	2,05
	161	1609	3	17	2,28
	161	1770	3	20	2,50
	162	1932	4	24	2,73
	162	2094	3	27	2,96
	161	2255	5	32	3,19
	162	2417	6	38	3,42
	161	2578	5	43	3,65
	162	2740	12	55	3,88
	162	2902	3	58	4,10
	163	3065	7	65	4,34
5 Min. später		3065	3 1/2	68 1/2	4,34
925		3990	der Pfahl sank schnell.		5,64

Die zuletzt angehängte Last von 925 kg wurde sogleich wieder abgenommen, weil der Pfahl so schnell sank, daß man befürchtete, er würde aus seinen Führungen gleiten.

Aus diesem Versuch darf gefolgert werden, daß der Kleiboden einem Drucke etwa von 4 kg/qcm zu widerstehen vermag, ohne wesentlich nachzugeben.

II. Belastungsversuch.

Das Schürfloch bildete in der Tiefe von — 8 m ein Geviert von 9 m Seite. In der Mitte desselben wurde ein Holzklötzchen übereinander gelegten Balken hergestellt, der 1,5 m lang und breit und 0,9 m hoch war. Dieser Klötzchen wurde mit Eisenbahnschienen belastet, die folgende Senkungen bewirkten:

Datum 1891	Belastung		Senkung		Druck kg/qcm
	einzel kg	zusammen kg	einzel mm	zusammen mm	
März 3.	Eigengew.	1215	—	—	0,05
"	2632	3847	12	12	0,17
März 4.	0	3847	30	42	0,17
"	3196	7043	17	59	0,31
"	3760	10803	13	72	0,48
"	4136	14939	14	86	0,66
"	8272	23211	51	137	1,03
"	8460	31671	59	196	1,41
März 5.	5762	37433	172	368	1,66
"	1773	39206	445	813	1,74
März 6.	0	39206	40	853	1,74
März 7.	0	39206	35	888	1,74

Beim Aufbringen der 1773 kg am 5. März sank der Klotz plötzlich, und die untersten Schienen berührten den Boden. Zugleich entstanden im Boden in der Nähe mehrere Risse, aus denen bald nachher Quellen hervortraten.

Ohne Zweifel war durch das anhaltende Pumpen der Sand unter dem Klei entführt worden, und die reichlich 4 m dicke

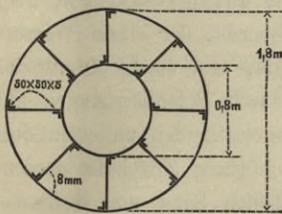


Abb. 3.

Kleischicht war dadurch ihrer Unterstützung beraubt worden. Später fand sich vor der Rinne, die das Pumpenwasser abführte, eine Menge von 160 cbm des unter dem Klei liegenden Sandes abgelagert.

Der Versuch hatte den Nutzen, die Gefährlichkeit des Pumpens unter diesen Umständen darzutun.

III. Belastungsversuch.

Eine eiserne Doppelröhre (Text-Abb. 3) von 1050,25 qcm Querschnitt wurde auf den Boden des Schürfloches gestellt und belastet, wie nachstehend angegeben:

Datum 1891	Belastung		Senkung		Datum 1891	Belastung		Senkung	
	einzel kg	zusammen kg	einzel mm	zusammen mm		einzel kg	zusammen kg	einzel mm	zusammen mm
März 2.	Eigengew.	2100	60	60	März 3.	3760	22592	40	430
März 3.	2820	4920	20	80	"	3008	25600	30	460
"	3196	8116	70	150	"	3572	29172	0	460
"	3572	11688	140	290	"	1504	30676	0	460
"	3760	15448	40	330	März 4.	0	30676	10	470
"	3384	18832	60	390	—	—	—	—	—

Zieht man nur die tragende Fläche in Betracht, so findet man, dass 1 qcm fast 30 kg getragen hat, was undenkbar ist. Nimmt man dagegen laut Versuch I an, dass der Klei nicht mehr als 4 kg/qcm tragen kann, so ergibt sich, dass der Boden unmittelbar nicht mehr als $1050,25 \times 4 = 4201$ kg getragen hat. Das übrige Gewicht, also $30676 - 4201 = 26475$ kg, muss durch die Reibung im Boden getragen worden sein. Die Reibungsfläche enthielt $2434 \times 47 = 114398$ qcm, folglich entfallen auf 1 qcm: $\frac{26475}{114398} = 0,23$ kg, die durch Reibung in dem Klei getragen worden sind.

IV. Belastungsversuch.

Auf einer Stelle des wieder mit Wasser gefüllten Schürfloches, die 3 m unter Niedrigwasser lag, wurden zwei Pfähle, durchweg von 30 cm Durchmesser und 707 qcm Querschnitt, 2,5 m von einander eingerammt und verholmt, und durch Balken

mit zwei anderen, näher dem Ufer eingerammten Pfählen verbunden. Die vorderen Pfähle waren 7,5 m tief eingerammt und standen etwa 2,5 m im blauen Sande und 5,0 m in dem Klei. Der westliche Pfahl zog bei 880 kg Gewicht des Bären und 3 m Fallhöhe bei den letzten Schlägen etwa je 10 cm, der östliche etwa 8 cm. Diese beiden Pfähle wurden mit Eisenbahnschienen derartig bepackt, dass sie deren volle Last zu tragen hatten.

Datum 1892	Belastung		Ganze Senkung des westlichen östlichen Pfahles Pfahles	
	einzel kg	zusammen kg	mm	mm
März 28.	Holmu.Balken	598	0	0
"	9776	10374	0	0
März 29.	5076	15450	0	0
"	6768	22218	5	5
"	6392	28610	5	8
"	5640	34250	15	15
"	2256	36506	17	16
"	4512	41018	22	23
"	3008	44026	918	146

Mit der Last von 41018 kg standen die Pfähle während der Vesperzeit. Nach dem Auflegen der letzten 3008 kg erfolgte die Senkung sehr schnell, und da der westliche Pfahl 772 mm tiefer sank als der östliche, fielen die Schienen sehr schief, und der Versuch musste abgebrochen werden.

Da durch die vorigen Versuche der Druck, den der Klei ertragen kann, und die Reibung in dem Klei bekannt sind, so kann man aus diesem die Reibung im Sande berechnen.

Die Grundfläche der beiden Pfähle enthielt 1414 qcm, folglich war nach Versuch I der Druck, den der Klei unmittelbar aufnahm, $1414 \times 4 = \dots \dots \dots 5656$ kg.

Die in dem Klei steckende Oberfläche der beiden Pfähle enthielt beim Abbruche des Versuches $1106,4 \times 94,25 = 104278$ qcm, also die Reibung nach Versuch III 0,23 mal soviel $\dots \dots \dots 23983$ „

Die im blauen Sande steckende Oberfläche der Pfähle enthielt $500 \times 94,25 = 47125$ qcm, die mit 0,3053 multiplicirt werden müssen, um die noch fehlenden $\dots \dots \dots 14387$ „ zu ergeben. Zusammen 44026 kg.

Die Reibung im Sande ist demnach etwa 0,31 kg/qcm, also ungefähr um ein Drittel größer als in dem Klei gewesen.

V. Belastungsversuch.

Im Schürfloch wurden vier Pfähle eingerammt, die ein Geviert von 2,4 m Seite bildeten. Sie zogen bei den letzten Schlägen eines Rammjägers von 900 kg und 1,3 m Fallhöhe 6 bis 10 mm und steckten 8 m im Grunde, von — 7,6 m bis — 15,6 m. Die untere Grenze des Klei fand sich auf — 12,8 m, folglich standen die Pfähle 5,2 m in dem Klei und 2,8 m im Sande. Sie hatten an der Bodenoberfläche 124 cm und an der Spitze 100 cm Umfang. Nachdem die Pfähle verholmt waren, wurden sie mit Eisenbahnschienen belastet.

Datum 1891	Belastung jedes Pfahles kg	Senkung mm
März 14.	29280	5
"	31830	13
März 15.	31830	13
März 16.	31830	14

Nachdem die Eisenbahnschienen abgenommen worden waren, wurden die an den Pfählen selbst angebrachten Zeichen untersucht, wodurch sich die Senkung nur zu 9 mm ergab.

Nimmt man nach Versuch III an, daß die Reibung in dem Klei 0,23 kg/qcm, und nach Versuch IV, daß sie im Sande 0,31 kg/qcm beträgt, so erhält man, da die Reibungsflächen eine Größe von 60424 qcm und 26676 qcm hatten:

$$\begin{array}{r} \text{Reibung in dem Klei} \quad 60424 \times 0,23 = \quad 13898 \text{ kg,} \\ \text{„ „ „ Sande} \quad 26676 \times 0,31 = \quad 8270 \text{ „} \\ \hline \text{Zusammen} \quad 22168 \text{ kg.} \end{array}$$

Zieht man dieses Gewicht von 31830 kg ab, so bleiben 9662 kg, die unmittelbar vom Boden getragen worden sind. Da die Grundfläche des Pfahles 804 qcm enthält, so hat der Sand rund 12 kg/qcm getragen, allerdings nicht, ohne vorher 9 mm nachzugeben.

Entwurf der Hafenköpfe. Der Entwurf der Hafenköpfe wurde durch die sehr ungünstigen Verhältnisse erschwert. Die große Stromtiefe näherte sich von Jahr zu Jahr dem Ufer mehr, und an einer Stelle in der Aufsenkante der künftigen Hafenköpfe fand sich bereits eine Tiefe fast von 11,5 m bei Niedrigwasser. Landwärts stieg dann der Grund ziemlich steil an. Die Strömung ist stark und läuft während der Ebbe bis zu vier Knoten oder etwa 2 m in der Secunde. Auch im Sommer mußte man zeitweilig auf starken Seegang gefast sein, und der Eisgang des Winters war nicht weniger zu fürchten. Es wurde dadurch unerläßliche Bedingung, den Bau in einem einzigen Sommer für Eisgang, Strömung und Wellenschlag völlig unangreifbar zu machen.

Eine Reihe von Entwürfen wurde aufgestellt und wieder verworfen, und erst unmittelbar vor dem Beginn des Baues tauchte ein Plan auf, der freilich etwas waghalsig erschien, aber doch allen Anforderungen zu genügen versprach. Nämlich das Flußbett sollte außerhalb der Hafenköpfe durch Steinschüttungen geschützt und unter den Köpfen selbst durch Baggerung auf die gleichmäßige Tiefe von 11,5 m unter Niedrigwasser gebracht werden. Auf diese so hergestellte ebene Fläche (Abb. 3 Bl. 1) sollte ein schmiedeeiserner, oben offener Kasten genau von der Form des Hafenkopfes geschleppt und dann durch das in seinem Innern aufzuführende Mauerwerk versenkt werden. Dieser Gedanke begegnete zwar anfänglich einigem Widerspruche, weil im Falle einer ernstlichen Beschädigung des Kastens heillose Zustände entstehen konnten, allein da nichts Besseres oder Sichereres vorgeschlagen wurde, verfolgte man ihn weiter.

Der Kasten mußte 120 m lang und 15,5 m hoch, im Boden 9 m und oben 7,45 m breit sein. Auf den Wasserdruck während des Baues war besondere Rücksicht zu nehmen und ebenso sehr auf Unebenheiten des Grundes, denn wenn auch die Baggerung tadellos ausgeführt werden würde, so konnte doch während des Baues der Grund durch die Wirkung der Strömung entweder vertieft oder erhöht werden. Welcher von diesen beiden Fällen möglicherweise eintreten würde, war nicht vorher zu wissen.

Der Kasten war von folgender Bauart (Abb. 9 bis 11 Bl. 3). Boden und Aufsenhaut bestehen durchweg aus Blech von 5 mm Stärke. Ein Winkeleisen von $55 \times 55 \times 10$ mm verbindet diese Theile mit einander. In Abständen von 1,3 m liegen querüber Bodenstücke von 0,9 m Höhe aus 6 mm starkem Blech, die an den Wänden, unten und oben, beiderseits mit ähnlichen Winkeleisen gesäumt sind. Auf den Bodenstücken stehen an den

Wänden Eckbleche von 0,6 m Höhe, die auch von zwei Winkeleisen umsäumt werden. Die Wände werden in Abständen von 0,65 m durch senkrechte I-Träger Nr. 12 versteift. Auf diesen I-Trägern, Spanten genannt, werden in senkrechten Abständen von 2 m wagerechte Gurte, I-Träger Nr. 16, vernietet. Der unterste Gurt liegt 1,5 m über dem Boden, trifft also mit der Oberkante der erwähnten Eckbleche zusammen. Wagerecht in Abständen von 3,9 m und senkrecht 2 m von einander werden die Wände durch eiserne Anker von 25 mm Durchmesser verbunden. Die Absteifung des Kastens im Innern geschieht durch Holz und ist aus den Abb. 9 bis 11 Bl. 3 ersichtlich. Das Eisengewicht eines Kastens ergibt sich zu 415 t, die erforderliche Holzmenge zu 200 cbm oder 120 t.

Der Kasten wird wie ein Schiff auf Helgen erbaut, dann bis zu einem passenden Tiefgange mit Beton gefüllt und darauf nach Cuxhaven geschleppt, wo die Füllung an Ort und Stelle fortgesetzt wird. Um dabei den Wasserdruck auf die Wände mäfsig zu halten, werden während der Versenkung Hohlräume im Kasten ausgespart. Diese, 15 an der Zahl, sind kreisrund und haben 6,8 m Durchmesser. Sie sind 7,8 m von Mitte zu Mitte von einander entfernt und beginnen 1 m über dem Boden. Zur Verstärkung des Bodens, der einem Wasserdruck bis zu 15,5 m widerstehen muß, wird die Lichtweite der Trümpfe unten quer zum Kasten durch Betonböschungen auf 4,4 m eingeschränkt. Der Beton besteht in den untersten drei Metern, die später durch eine Steinschüttung eingehüllt werden, aus 1 Raumtheil Cement, 5 Raumtheilen Sand und 6 Raumtheilen hartgebrannter Mauersteinbrocken. Darüber wird hauptsächlich, und in einer 0,75 m starken Schicht an der Aufsenseite ausschließlic, Beton aus einer Mischung von 1 Raumtheil Cement und 6 Raumtheilen Magdeburger Kies verwandt. In der Höhe von 9,5 m über dem Boden oder 2 m unter Niedrigwasser beginnt eine Granitverblendung von 0,425 m durchschnittlicher Stärke. Bei dieser Art der Füllung ist der Höhenunterschied zwischen dem äußeren Wasserstande am Kasten und dem Mauerwerk im Innern niemals größer als 1,5 m. Wenn der Kasten auf dem Grunde festsitzt, wird der Beton im Boden auf 2 m verstärkt, und die Hohlräume werden durch weitere Betonschüttung auf das in der Abb. 1 u. 9 Bl. 3 angegebene Maß verkleinert. Die verkleinerten Hohlräume werden mit Sand gefüllt, der mit einer 2 m dicken, über den ganzen Kasten reichenden Betonschicht bedeckt wird. Granitplatten von 30 cm Stärke, die im Beton verankert sind, bilden die oberen Kanten des Mauerwerkes, und zwischen ihnen überdeckt eine Stampfasphaltschicht von 5 cm Stärke die Oberfläche des Betons. Schwere gusseiserne Poller und verankerte Gufseisenkasten zur Befestigung der Streichpfähle werden im Beton vermauert (Abb. 14 bis 16 Bl. 2 und Abb. 17 bis 20 Bl. 3).

Neben dem großen Kasten steht auf der Hafenseite ein zweiter, kleinerer, Treppenkasten genannt (Abb. 12 bis 14 Bl. 3), der die Landungstreppe, die gemauerte Fortsetzung des Deiches bis zur Hafeneinfahrt und ein kleines Gebäude für das Hafenfeuer und den registrierenden Fluthmesser aufzunehmen bestimmt ist. Seine Länge ist etwa 22 m und seine Breite 6 m. Obgleich die Tiefe unter ihm ebenfalls 11,5 m bei Niedrigwasser beträgt, weil die Baggerung für den großen Kasten der Sicherheit halber landwärts etwas ausgedehnt werden muß, ist es doch nicht nöthig, ihn bis zu dieser Tiefe zu versenken. Wenn man ihn ungefähr 12 m von der Hafeneinfahrt abrückt, so genügt für

ihn eine Tiefe von $-3,5$ m, weil man ihn bis dahin mit Steinen beschütten kann. Er soll deshalb auf einen Pfahlrost gestellt werden, der gerammt wird, sowie der große Kasten versenkt worden ist. Die Pfähle dieses Rostes reichen bis zur Tiefe von -16 m, und ihre Zwischenräume werden zur Vermehrung der Standsicherheit mit Steinen ausgefüllt. Die Pfähle werden auf $-4,08$ m abgeschnitten und sind dann zur Aufnahme des Kastens bereit. Der Kasten hat eine Höhe von 8 m über dem Boden, und dieser besteht aus Bohlen von 8 cm Stärke, die querüber durch I Träger Nr. 28 versteift werden. Im übrigen besteht der Kasten aus Eisen und wird in ähnlicher Weise versteift und versenkt wie der große Kasten. Die 16 bleibenden Hohlräume im Treppenkasten sind kreisrund und von 1,1 m Durchmesser. Sie werden nicht mit Sand gefüllt, weil die dadurch bewirkte Gewichtsvermehrung zwecklos wäre. Der Raum zwischen den beiden Kästen wird bis zur Niedrigwasserlinie mit Beton in Säcken und unter Wasser geschüttetem Beton gefüllt und dann hochgemauert.

Der Uebergang vom Treppenkasten zur Kajemauer aufsendeichs wird durch den Anschlusskasten, Abb. 4 bis 6 Bl. 2 vermittelt. Da dieser auf einem Ende die Tiefe von -11 m, auf dem andern von -5 m vorfindet, ist er ebenfalls als Senkkasten auf niedrigem Pfahlrost gebaut und soll bis $-3,5$ m mit Steinen beschüttet werden. Er bildet ein unregelmäßiges Sechseck mit zwei langen Seiten, die nur 4,7 m im Lichten von einander entfernt sind. Für diese geringe Breite erwies sich ein Eisenkasten zu schwer, und deshalb wurde ein hölzerner Kasten gewählt. Sein Boden von 30 cm Dicke besteht aus zwei kreuzweis gelegten Holzlagen, und auf ihm sind die Wände mit 40 langen Eisenankern derart befestigt, dass sie nach erfolgter Versenkung gelöst werden können und auftreiben müssen. Der Pfahlrost wird auf $-4,3$ m abgeschnitten, und der Kasten, 5 m über dem Boden hoch, wird nach der Versenkung vollständig mit Beton ausgefüllt. Das über dem Kasten liegende Mauerwerk, das ebenso wie im unteren Theile mit Klinkern verblendet ist, wird durch Tidarbeit hergestellt.

An den Hafenkopf schließt sich auf seinem vom Hafen abgewandten Ende unter einem Winkel von 45° die schräge Mauer (Abb. 1 und 4 Bl. 3), die auf einem, auf $+0,3$ m abgeschnittenen Pfahlrost gegründet ist. Sie hat einestheils den Zweck, den niedrigen Theil des Hafenkopfes zu vergrößern, andertheils dient sie als Abschluss des Uferdeckwerkes, das hier von $+1$ m bis $+8$ m reicht und dann landwärts mit seiner Krone in einem Gefälle von 1:30 bis auf $+4$ m fällt. Die schräge Mauer muß so weit vom Ende des Hafenkopfes entfernt bleiben, dass genügender Raum bleibt für eine Steinböschung, die sowohl ihren eigenen Pfahlrost wie auch den Fuß des Uferdeckwerkes zu schützen bestimmt ist.

Das Uferdeckwerk (Abb. 5 Bl. 1) besteht aus geviertförmigen Betonblöcken von 0,75 m Seite und 0,32 m Dicke, die durch abweichend geformte Fuß- und Kronsteine eingefasst werden. Die Fußsteine lehnen sich an eine Bohle, die an kleine eingeschlagene Pfähle genagelt ist, und die Kronsteine überragen das dahinter befindliche Erdreich um 0,4 m, damit der Schlag der überstürzenden Wellen durch das Wasser, das die Kronsteine am Abfließen hindern, abgeschwächt wird.

Zwischen der schrägen Mauer und den drei Senkkästen wird der Boden hochgeschüttet, um nach erfolgtem Setzen diejenigen Mauerwerktheile aufzunehmen, die den Hafenkopf mit dem aus

Erde aufgeführten Deich verbinden. Sie bestehen aus einem hohen Gange (Abb. 5 bis 8 Bl. 3), der auf einer Seite von einer starken Mauer und auf der anderen von eisernen Säulen getragen wird, und aus einer breiten Granittreppe, die von dem niedrigen Theile des Hafenkopfes bis zur Deichhöhe ansteigt. Der Raum unter dem hohen Gange dient theils als Zufluchtsort bei schlechtem Wetter, theils als Zugang zur Landungstreppe, und in seinem äußersten, auf beiden Seiten von Mauern umschlossenen Theile, für Aborte (Abb. 1 Bl. 3). Eine Rampe und eine kleine Treppe führen von der Kaje nach der großen Treppe und nach dem hohen Gange, und zur unmittelbaren Verbindung der Kaje mit dem vorderen Theile des Hafenkopfes bleibt eine 6 m breite Öffnung in der Mauer unter dem hohen Gange.

Die Kajemauer aufsendeichs kann nur durch Tidarbeit hergestellt werden, weil ein standfester Klopfdamm zu zeitraubend und kostspielig werden würde. Auch das häufig angewandte Verfahren, den Boden zwischen eingerammten Spundwänden auszubaggern und durch Beton unter Wasser zu ersetzen, erschien nicht rathsam, weil die quergerichtete Strömung, die starke Aufschlickung und der feine Sand, der durch die Fugen der Spundbohlen geflossen wäre, keinen guten Beton erwarten ließen, auch die Festigkeit des Kleibodens vielleicht nicht genügt hätte. Die Gründung mittels Druckluft hätte zweifellos gute Ergebnisse geliefert, allein da sie jedenfalls sehr theuer werden mußte, glaubte man ihrer unter den obwaltenden Umständen entzagen zu können. Es blieb also eigentlich nur noch die Brunnengründung, die schon im Jahre 1865 in Cuxhaven als zweckmäßig erprobt worden war. Damals hatte man nur bis zur Tiefe von -4 m zu gehen nöthig, während man jetzt bis -10 m hinunter mußte, wenn die Brunnen in der Hafenkante selbst stehen sollten. Sie so tief zu bringen, konnte mißglücken, und man zog deshalb eine andere Anordnung vor.

Die Brunnen (Abb. 1 Bl. 2) bleiben mit ihrer Vorderkante 8,2 m von der Hafenkante entfernt und werden nur bis -6 m versenkt. Jeder Brunnen ist 6 m lang, unten 5 m, und 7 m höher 4 m breit. Den Fuß des Brunnens bildet ein Betonkranz, der durch fünf Eisenbänder von 1×5 cm verstärkt ist und auf einem Sanddamm von $+2$ m Höhe angefertigt wird. Auf $+1$ m springt das Mauerwerk auf beiden Langseiten des Brunnens um 0,5 m zurück und wird in zwei Steinstärken bis $+3$ m geführt, wodurch erreicht wird, dass der Brunnen während der Füllung mit Beton bei gewöhnlichen Tiden nicht von oben volllaufen kann. Nach erfolgter Versenkung wird der Brunnen im trocknen mit Beton vollgestampft. Es wird ein Brunnen um den anderen versenkt, und wenn eine Reihe steht, werden die 30 cm weiten Fugen zwischen ihnen abgeschlossen, leergebagert und mit Beton in kleinen Kästen unter Wasser gefüllt.

Der Raum zwischen der Brunnenmauer und der Hafenkante wird durch eine Holzbrücke (Abb. 1 bis 3 Bl. 2) überdeckt, die auf Rammpfählen ruht und für eine Belastung von 3000 kg/qm berechnet ist. Die Brücke setzt sich bis zum Treppenkasten fort, nimmt aber vor dem Anschlusskasten sprungweise an Breite ab, sodass sie unmittelbar am Treppenkasten nur noch 3 m breit ist (Abb. 2 Bl. 1). Außen an der Brücke kann die volle Hafentiefe gebaggert werden, muß aber vor dem Anschlusskasten allmählich bis auf 3,5 m abnehmen.

Die Pfähle der Brücke werden zwar mit der Zeit vom Bohrwurm angegriffen werden, allein erfahrungsmäßig geht das bei Rundhölzern sehr langsam. Rammpfähle, die 30 Jahre und

länger dem strömenden Salzwasser ausgesetzt gewesen sind, zeigen oft, wenn man sie an vielen Stellen im Inneren untersucht, nur sehr geringe Spuren des Bohrwurms. Gesägtes Holz dagegen ist schon nach wenigen Jahren stark angefressen, und 5 cm starke Bretter, die früher das Gerinne der Cuxhavener Spülschleuse bildeten, mußten zweijährlich erneuert werden.

Die Mauern binnendeichs. Durch die Erfahrungen im Schürfloche war bewiesen worden, daß es unmöglich oder allzu gewagt sein würde, die Baugrube bis zur Hafensohle leerzupumpen, und ebenfalls erschien es zu gefährlich, die zerbrechlichen Mauern unmittelbar auf den wenn auch festen, doch immerhin nachgiebigen Kleiboden zu setzen. Man wollte also den Wasserspiegel bis — 4 m senken, einen Pfahlrost schlagen und auf diesem die Mauern in der Höhe von — 3 m beginnen lassen. Dabei kam es darauf an, die Pfähle von — 3 m bis zur Hafensohle abwärts für den Bohrwurm unverwundbar zu machen. Zu dem Zwecke schlug man zunächst vor, die Pfähle auf der Hafenseite mit einer doppelten Bohlenlage von Greenheart-Holz (*Laurus chloroxylon* nach englischen, *Nectandra Rodiöi* nach holländischen Angaben) zu benageln. Diese, aus Surinam und Demerara in Guyana eingeführte Holzart blieb nach Robert Stephenson's Versuchen, die in der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts am Bell-Rock-Leuchthurm stattfanden, während 19 Jahre fast unversehrt und war nur an einer Ecke etwas angegriffen. Stephenson erwähnt aber nicht den Bohrwurm (*teredo navalis*), sondern nur die *Limnoria tenebrans*, ein anderes holzerstörendes Wasserthierchen, das in Cuxhaven nicht vorkommt. Thomas Stephenson (in: *Design and Construction of Harbours*, Edinburgh 1886) führt andere, ungünstigere Fälle an, und auch neuere holländische Erfahrungen haben ergeben, daß das Holz nicht vollkommen unangreifbar genannt werden kann. Nichtsdestoweniger wird es in England und Holland vielfach zu Schleusenthoren und Pfahlwerken verwandt und scheint sich dabei jedenfalls besser zu bewähren, als unsere, durch Kreosot oder Wurmnägel geschützten Holzarten. Anfragen in den genannten Ländern wurden nichtsdestoweniger nicht ermunternd beantwortet, und der Entwurf wurde infolge dessen von den Behörden abgelehnt. Wahrscheinlich mit vollem Rechte, denn ein Nachtheil wäre unter allen Umständen von seiner Ausführung unzertrennlich gewesen, nämlich der, daß die Befestigung und spätere Untersuchung der angeagelten Greenheart-Bohlen nur durch Taucher hätte geschehen können.

Diesem abgelehnten Entwurfe folgten Erörterungen über vier andere, bis ein Vorschlag gemacht wurde, der den Schutz des Pfahlrostes auf eine eigenthümliche und, wie es schien, einwandfreie Weise zu erreichen verhieß. Diesem Vorschlage gemäß ruht die Mauer auf acht Pfahlreihen, von denen fünf senkrecht oder fast senkrecht und drei schräg stehen (Abb. 7 Bl. 2). Die vorderste Pfahlreihe wird durch zwei, 1 m von einander entfernte Spundwände eingeschlossen. Die vordere Spundwand reicht von — 2 m bis — 10 m, die hintere von — 3 m bis — 8,5 m. Nachdem die Spundwände gerammt sind, wird der Boden zwischen ihnen bis zur Hafensohle herausgenommen, wobei das zudringende Wasser ausgeschöpft wird und die Spundwände abgesteift werden. Darauf wird die Pfahlreihe zwischen den Spundwänden gerammt, die richtige Tiefe von — 8 m bis — 8,5 m abermals hergestellt und der Beton zwischen den Spundwänden im trocknen sorgfältig eingestampft. Um die Schrägpfähle unter den Spundwänden durchführen zu können, erhält die Mauer im unteren Theile die

ungewöhnliche Dicke von sieben Metern. Die fünf senkrechten oder nahezu senkrechten Pfähle werden querüber je durch zwei eiserne Bänder von 2×5 cm Stärke, die auf jedem Pfahl durch einen Rundbolzen von 3 cm Durchmesser zusammengehalten werden, mit einander verbunden. Sämtliche Pfähle werden auf — 2 m abgeschnitten, der Boden wird auf — 3 m geebnet und dann der Beton zwischen Schalungen, von denen die vordere gehobelt ist, eingebracht. In der Höhe von — 2 m springt die Mauer vorne um 10 cm zurück, um sie völlig von der vorderen Spundwand zu isoliren; diese kann der Bohrwurm wegfressen, ohne daß die Mauer irgendwie dadurch leidet. Mit Ausnahme der Granitdeckplatte besteht die ganze Mauer aus Beton, der im allgemeinen 1 Raumtheil Cement und 6 Raumtheile Magdeburger Kies, auf den äußeren 25 cm aber den doppelten Cementzusatz enthält. Versuche hatten nämlich ergeben, daß der Kies 27 v. H. Hohlräume enthält, und um diese sicher zu füllen, sind ihm $33 \frac{1}{3}$ v. H. Cement zugesetzt worden; schwächeren Beton glaubte man bei dem wechselnden Wasserstande nicht als frostsicher annehmen zu dürfen. Der Beton wird in Schichten von 25 cm eingebracht und gestampft, wobei den Mischungen von verschiedenem Cementgehalt Gelegenheit gegeben wird, sich in frischem Zustande mit einander zu verbinden. Die Kasten und Anker zur Befestigung der Streichpfähle, Schiffsringe und Leitern (Abb. 9 bis 11 u. 17 bis 19 Bl. 2) werden gleich beim Schütten des Betons eingemauert und sorgfältig angestampft. Die Kosten der Mauer sind auf 2100 \mathcal{M} für 1 m Länge berechnet, ebenso hoch wie die der Brunnenmauer aufsendeichs.

Dieser Entwurf wurde höheren Ortes genehmigt und zur Ausführung bestimmt.

Bewilligung und Bau der Häfen.

Die Berathungen über die Hafentwürfe erforderten etliche Jahre. Ihr Ergebniss mochte für zweifelhaft gehalten werden, denn mancher befürchtete von dem geplanten tiefen Hafen eine Schädigung Hamburgs. Gerade zur rechten Zeit trat indes ein Ereigniss ein, das in günstigster Weise wirkte. Die einflußreiche und mächtige Hamburg-America-Linie, die bis dahin ihre Newyorker Passagierdampfer von Hamburg hatte abgehen lassen, beabsichtigte Schnelldampfer von 8 m Tiefgang zu erbauen und für diese Cuxhaven als Abgangshafen zu wählen. Dadurch wurde, wenn auch keine angemessene Verzinsung des Anlagecapitals, doch eine beträchtliche Einnahme für den neuen Hafen in Aussicht gestellt. Das verlieh der ganzen Angelegenheit ein anderes Aussehen, und als der Senat am 6. Juni 1890 die Bewilligung von 7 000 000 \mathcal{M} für den tiefen Hafen und von 700 000 \mathcal{M} für den Fischerhafen bei der Bürgerschaft beantragte, stimmte diese bereits am 17. September desselben Jahres dem Antrage zu.

Nach erfolgter Bewilligung gestalteten sich die Verhältnisse bald derart, daß einzig und allein der Bau des Fischerhafens (Abb. 1 Bl. 1) unverzüglich begonnen und auch ohne Störungen zu Ende geführt werden konnte. Da der Fischhandel in Cuxhaven nicht viel zu bedeuten hat, ist dieser Hafen eigentlich nur ein Noth- und Eishafen für Fischerfahrzeuge, und Schuppen oder sonstige Einrichtungen zur Erleichterung des Handels wurden für ihn zunächst entbehrlich gehalten. Er hat 3,7 ha Fläche und eine Tiefe von 3 m bei Niedrigwasser. Seine Ufer bestehen aus hölzernen Vorsetzen, die bis 4 m über Niedrigwasser reichen. Die Spundwände der Vorsetzen sind, soweit sie nicht im Erd-

boden stehen, mit Eisenblechplatten benagelt, um gegen den Bohrwurm geschützt zu sein. Der größte Theil des Hafens konnte mit geringen Kosten durch Deiche gegen Sommerfluthen geschützt und dann im trocknen ausgegraben werden, wobei höchstens 1 cbm Wasser in jeder Minute gepumpt werden mußte. Die Arbeiten wurden, mit Ausnahme des kleineren Theiles, am 29. Januar 1891 einem Unternehmer übertragen, und am 9. October 1892 konnte der völlig fertige Hafen dem Verkehr eröffnet werden. Die Kosten blieben willkommener Weise 180 000 *M* unter dem Anschlag; der Aferunternehmer der Erdarbeiten aber, der im ganzen 173 000 cbm zu fördern hatte, sollte dem Vernehmen nach mit großem Verlust abgeschlossen haben. Denselben Unternehmer traf während des Baues ein entsetzlicher Unglücksfall. Auf einer der beim Erdördern beschäftigten Locomotiven flog an einem dunklen Novemberabende der Auswaschbolzen aus dem Kessel. Eine Seite des Führerstandes war wegen der Kälte mit Brettern verkleidet, und die drei Leute, die auf der Locomotive standen, mußten durch den ausströmenden Dampf fliehen, um ins Freie zu gelangen. Dabei wurden sie so furchtbar verbrüht, daß sie sämtlich innerhalb zehn Stunden todt waren.

Bau der Hafenköpfe. Schon im Herbste des Jahres 1890 war auf der Stelle des westlichen Hafenkopfes gebaggert worden, wobei sich bis zur Tiefe von —13,6 m überall fester Klei und darunter scharfer Sand gefunden hatte. Bestimmte Werthe für die Tragfähigkeit des Klei ließen sich freilich nicht daraus ableiten, allein da auch bekannt war, daß derselbe Kleiboden den Druck gesunkener Schiffe ausgehalten hatte, ohne merklich nachzugeben, glaubte man, ihm die Hafenköpfe nach dem im vorigen Abschnitte beschriebenen Entwurf anvertrauen zu dürfen, namentlich da man damals auf den Gewichtsverlust des Mauerwerks im Wasser rechnete, wovon man später absehen zu müssen glaubte, weil der den Kleiboden überall innig berührende Senkkasten unten doch mit dem Wasser nicht in Verbindung treten kann. Der Entwurf wurde also im November 1890 eingereicht, und am 6. Januar 1891 wurden vier bewährte Unternehmer zum Abgeben von Anerbieten aufgefordert. Von diesen Unternehmern lehnte einer ganz ab, zwei schlugen unannehmbare Veränderungen des Entwurfes vor, und nur der vierte, F. H. Schmidt in Altona, erbot sich für eine den Anschlag nicht überschreitende Summe zur Ausführung des ungeänderten Entwurfes. Am 3. Februar wurde der Bauvertrag abgeschlossen, und alle Einrichtungen wurden getroffen, um im Mai den großen Senkkasten an seinen Platz schleppen und mit seiner Füllung beginnen zu können.

Ein unerwarteter Zufall störte diese Absichten. In dem schweren Eisgange des Winters wurde der Fischdampfer *Platessa* am 7. Januar von der Schraube des Schleppdampfers *Borkum* unter der Wasserlinie beschädigt und sank, mit der Fluth aufwärts treibend, in der Nähe der Stelle des östlichen Hafenkopfes. Gerade dieser sollte zuerst erbaut werden, weil die große Tiefe sich ihm schon am meisten genähert hatte und weil die Baggerung für den westlichen Hafenkopf zu umfangreich war, um bis zum Mai vollendet werden zu können. Zunächst schien die Sache auch nicht bedenklich, denn die Nordische Bergungsgesellschaft, die den Dampfer zu heben übernommen hatte, versicherte, es sei sehr leicht, damit fertig zu werden. Am 14. März wurde der Dampfer auch wirklich gehoben, sank aber wieder weg und zwar unglücklicherweise gerade unter dem künftigen Hafenkopf.

Dasselbe wiederholte sich noch einmal, und das Ende war, daß die Wasserbaubeamten Hamburgs und der Unternehmer am 13. Juni erklärten, es sei nun zu spät geworden, um im Jahre 1891 noch mit dem Versenken des großen Kastens beginnen zu können. Es nützte nun nichts mehr, daß die *Platessa* am 20. Juni abermals gehoben und von dem Platze, den sie fast ein halbes Jahr behauptet hatte, weggeschleppt wurde.

Der Rest des Jahres verging mit dem Aufstapeln unendlicher Materialmengen und mit Verhandlungen über Abschlagszahlungen, die der geschädigte Unternehmer mit Recht beanspruchen konnte.

Am 29. April 1892 lief der quer auf den Helgen erbaute Senkkasten glücklich von Stapel und lag mit seinem Inhalte von 270 cbm Beton und 9,5 m hohen Wänden 0,97 m tief im Wasser. Mit weiteren 1630 cbm Beton wurde sein Tiefgang auf 4,06 m gebracht, und bei diesem Tiefgange hielt man seine Schwimmsicherheit für genügend, um ihn nach Cuxhaven schleppen zu können. Wegen seiner unregelmäßig abgerundeten Enden war er mit hölzernen Vorköpfen, die auf 90° zugeschärft waren, versehen worden. Am 30. Mai, morgens 3 Uhr, trat er seine Reise im Reiherstieg bei Hamburg an, und drei Stunden dauerte es, bis ihn seine fünf Schleppdampfer nach St. Pauli gebracht hatten. Abends 6³/₄ Uhr traf er drei Stunden nach Hochwasser, also bei lebhafter Ebbströmung, in Cuxhaven ein. Zwei starke Pfahlbündel waren 70 m von einander und 16 m von seiner Binnenkante entfernt eingerammt, an denen er vorläufig hätte befestigt werden können; Anker lagen im Grunde, deren Taue ihm hingereicht werden sollten. Allein es klappte nicht. Der Kasten kam dem Lande zu nahe, zerbrach fünf Pfähle und gerieth an Grund. Die Dampfer bemühten sich, ihn wieder abzubringen, aber nachdem das glücklich gelungen war, trieb er stromabwärts weg, ehe sie ihn zu stoppen vermochten. Ungefähr 2000 m schwamm der Kolofs führerlos der See zu, und wenn die Reede nicht gerade ganz frei von Schiffen gewesen wäre, hätten sich folgenschwere Zusammenstöße ereignen können. So aber ging alles gut, und am anderen Morgen lag der Kasten wohlbehalten vor seinen sechs Ankern; stromab und stromauf vor Ankern von 1000 kg Gewicht an 60 mm starken Stahltrossen und querab an leichteren Befestigungen. Vom westlichen der beiden schon erwähnten Pfahlbündel führte eine feste Holzbrücke nach dem 70 m entfernten Deiche und eine bewegliche Brücke nach dem Kasten, an dem sie befestigt war, um sich bei dem wechselnden Wasserstande mit ihm zu heben und zu senken. Ein starker Balken, der vom östlichen Pfahlbündel nach dem Kasten führte, hatte den Zweck, ihn auch auf diesem Ende im richtigen Abstände vom Ufer zu erhalten.

Ueber der Holzbrücke war am Deich und in gleicher Höhe mit ihm eine Bühne für die beiden Betonmischmaschinen erbaut (Lageplan, Abb. 2 Bl. 1). Unter dieser Bühne, auf der niedrigeren Holzbrücke liefen auf Schienen die Eimer, die auf einer Seilbahn den Beton, mit dem sie unmittelbar aus der Mischmaschine gefüllt wurden, dem Senkkasten zuführten. Auf diesem angelangt, wurden sie in die Tiefe hinuntergelassen, wo sie auf Schienen nach allen Theilen des Kastens hingerollt werden konnten. Die entleerten Kasten wurden durch das Gewicht der vollen wieder emporgezogen und kehrten auf der rücklaufenden Hälfte des Seiles wieder nach der Mischmaschine zurück. Von der Mischmaschine 250 m westlich entfernt war eine Landungsbrücke erbaut, an der die Materialien im Quarantänehafen gelöst werden konnten. Am

Köpfe dieser Brücke stand eine Dampfmaschine, durch die mehrere Kettenbahnen getrieben wurden: eine, die die Materialien über die Brücke nach dem südlich belegenen Lagerplatze beförderte, und eine zweite, durch die sie nach der Mischmaschine gefahren wurden. Diese und die Seilbahn wurden ebenfalls durch Dampf bewegt; nur die Beförderung der Betoneimer im Kasten selbst geschah durch Arbeiter.

All diese Einrichtungen waren vom Unternehmer mit großer Umsicht getroffen worden und bewährten sich vortrefflich. Am 25. Juni konnte die Betonfüllung des Kastens wieder aufgenommen werden, und bis zum 15. August wurden etwa 3200 cbm Beton eingebracht, wodurch der Kasten bis 9,32 m über dem Boden gefüllt und sein Tiefgang auf 10,31 m gewachsen war. Zweimal während dieses Zeitraums mußte die Arbeit unterbrochen werden, einmal auf sechs Tage, um die Hängebahn im Kasten, auf der die Betoneimer liefen, von 7,5 nach 11,5 m über dem Boden zu verlegen, und das andere Mal auf elf Tage, um den Kasten bis zur vollen Höhe von 15,5 m über dem Boden aufzubauen und um die Ankerrossen nach der Oberkante des Kastens zu schaffen. Nach Abzug dieser Pausen sind in jeder Arbeitsstunde etwa 10 cbm oder 48 Eimer Beton befördert worden; wenn gar keine Störungen eintraten, stieg die Eimerzahl auf 60 in der Stunde.

Am 15. August trat eine Unterbrechung unerfreulicher Art ein. Das Strombett hatte sich unter dem Kasten vertieft und zwar durchschnittlich um 20 cm, stellenweise um 50 cm. Die dadurch entstandenen Unebenheiten mußten beseitigt werden, um so mehr als der Kasten noch wochenlang schwimmen oder abwechselnd schwimmen und festsitzen sollte, wobei die Vertiefung in bedenklicher Weise hätte zunehmen können. Da dieser Fall im Bauvertrage vorgesehen worden war, wurde der Unternehmer veranlaßt, den Kasten erst um 3 m landwärts und dann um ebensoviel stromwärts zu verlegen. Die dadurch freiwerdenden Streifen des Strombettes wurden nach einander vorsichtig mit Steinen beschüttet, von denen 225 cbm erforderlich waren, um eine Erhöhung des Grundes von —11,72 auf 11,54 m zu bewirken. Sorgfältige Tiefenmessungen ergaben zwischen den durchschnittlichen Höhen der beiden Streifen nur einen Unterschied von einem einzigen Millimeter.

Am 1. September konnte die Betonfüllung wieder fortgesetzt werden, und obgleich die in der Höhe von 9,7 m über dem Boden beginnende Granitverblendung die Arbeit erschwerte, weil die Werkstücke namentlich auf den abgerundeten Enden des Hafenkopfes häufig nachgearbeitet werden mußten, trat doch schon am 21. September der ersehnte Augenblick ein, der den Senkkasten zum letzten Male schwimmen sah. Beton und Werkstücke waren 11,7 m hoch eingebracht, und der Kasten war noch flott mit einem Tiefgange von 14,16 m. Dieser, im Verhältniß zur Höhe des Mauerwerkes programmwidrig große Tiefgang war dadurch absichtlich veranlaßt, daß auch in die Hohlräume Beton geschüttet worden war, um die Zeit nicht zu verlieren, während der auf Werkstücke gewartet werden mußte. Der Inhalt und das nach dem verdrängten Wasser berechnete Gewicht des Kastens betragen im Augenblicke des Festwerdens:

6338 cbm Beton zu 2,1 t	13309,8 t
143 „ Granit zu 2,8 t	400,4 „
Holz und Eisen, Drahtseile, Geräth,	
Hütten, Schienen	477,8 „
Zusammen	14188,0 t.

Ein riesiger Grundstein, vielleicht unübertroffen an Maß und Gewicht! Andere Ermittlungen ergeben für den Beton ein ähnliches Einheitsgewicht, denn der Ziegelbrockenbeton wog frisch 1997 und trocken 1859 kg/cbm, der Kiesbeton frisch 2320 und trocken 2185 kg. Da etwa 31 v. H. Ziegelbeton und 69 v. H. Kiesbeton verwandt worden sind, so kann man, da ein halbtrockener Zustand vorausgesetzt werden muß, für ersteren das Einheitsgewicht 1,9 und für letzteren 2,2 annehmen, woraus sich als Durchschnittsgewicht 2,1 ergibt.

Durch Tag- und Nacharbeit wurde jetzt die Füllung des Kastens beschleunigt, und am 5. November war das Mauerwerk bis 15,2 m über dem Boden fertig. Dann wurde sogleich begonnen, Sand in die Hohlräume zu schütten, um diese mit einer Betonschicht von 0,5 m Stärke schließen zu können. Als die Hohlräume zur Hälfte gefüllt waren, überschwemmte eine Sturmfluth am 30. November den Kasten. Da die unteren Ankerreihen sämtlich weggenommen worden waren, um den Beton und namentlich die Granitverblendung nicht zu unterbrechen, saß nur noch die oberste, unmittelbar über dem fertigen Mauerwerk befindliche Ankerreihe. Sowie das Wasser Zutritt zwischen den Kastenzwänden und dem Mauerwerk gefunden hatte, rissen sämtliche Anker, und die 15,5 m hohen Eisenwände wurden von den Wellen hin und hergeschleudert, wobei sie nur einen Halt an den gebogenen Enden des Kastens fanden. Durch die Reste der Ankerstangen, die die heftigen Bewegungen der Wände mitmachten, wurde die oberste Granitschicht stellenweise so stark beschädigt, daß einzelne Werkstücke ausgewechselt werden mußten. Weiterer Schaden entstand nicht, aber man begann schleunigst die oberen Plattengänge des Kastens wegzunehmen und beseitigte bis zum 28. December 90 m der Außenseite bis zur Niedrigwasserhöhe. Inzwischen waren auch die Hohlräume vollends mit Sand gefüllt und die Betonschicht darüber gestampft, sodaß am Jahresschluss der Hafenkopf eine ebene Fläche in der Höhe von 3,5 m über Niedrigwasser bildete, wobei erwähnt werden muß, daß der Kastenboden, der am 16. September auf —11,48 m saß, sich schon bis —11,72 m gesenkt hatte.

Inhalt und Gewicht des Hafenkopfes waren um diese Zeit:	
390,0 cbm Granit zu 2,8 t	1092,0 t
11873,0 „ Beton zu 2,1 t	24933,3 „
2,5 „ eiserne Streichpfahlkasten	12,5 „
2597,5 „ Sand in den Hohlräumen zu 1,9 t	4935,2 „
Gewicht des Kastens etwa	343,0 „
14863,0 cbm	Zusammen 31316,0 t.

Die Standfestigkeit des frei im Strome stehenden Bauwerkes war in diesem Zustande schon so groß, daß der Eisgang des Winters nicht die leiseste Erschütterung darin hervorzubringen vermochte.

Sobald der Kasten fest auf dem Grunde saß, wurde er auf seiner Vorderseite und auf den Enden mit einer 3 m hohen zweifüßigen Steinböschung beschüttet; ebenso wurde auf der Landseite die gebaggerte Rinne mit Sand ausgefüllt, soweit die Rücksicht auf die Pfahlroste der kleinen Senkkasten das gestattete. Die Pfähle für diese Kasten und für die schräge Mauer wurden größtentheils noch in diesem Jahre gerammt.

Im Jahre 1893 wurde das Mauerwerk über dem großen Kasten bis +5 m hochgeführt. Die beiden kleinen Senkkasten kamen zu Platz, und ihr Mauerwerk, ebenso wie das der schrägen Mauer und der Fugen zwischen den Kasten wurde fertig. Das

Blech von der Außenseite des großen Kastens wurde mit Taucherhilfe unter großen Beschwerden bis 2 oder 3 m unter Niedrigwasser beseitigt. Das Uferdeckwerk wurde an die schräge Mauer geschlossen und die Hinterfüllung des Hafenkopfes geschüttet, von + 3,5 m an der schrägen Mauer bis + 0,5 m am Treppenkasten abfallend. Zur Hinterfüllung mußte der feine blaue Sand benutzt werden, dessen üble Eigenschaften vielfach Hindernisse bereiteten. Wenn abends der frisch geschüttete Damm Schienengleise trug und befahren werden konnte, so fand man ihn morgens nicht wieder, weil der Sand sich durch den Einfluß des Wassers fast wagerecht in der Tiefe ausgebreitet hatte. Dadurch drohten die Pfahlroste der Senkkasten, bevor diese versenkt waren, zu versanden, und mehrmals wurde es notwendig, Steindämme zu ihrem Schutze zu schütten oder durch Baggerung die verlorene Tiefe wieder herzustellen.

Der Bauvertrag über den westlichen Hafenkopf war bereits am 8. December 1892 mit demselben Unternehmer abgeschlossen worden, indes für eine etwas höhere Summe, um ihn für die Wartezeit des Jahres 1891 zu entschädigen. Durch die Erfahrungen beim Bau des östlichen Hafenkopfes belehrt, ging man bei dem westlichen etwas anders vor. Durch die Baggerung von 18 276 cbm, die in den Jahren 1890 bis 1893 gehoben wurden (beim östlichen nur 10 491 cbm), wurde das Strombett unter dem Hafenkopfe bis — 11,6 m vertieft. Die dadurch hergestellte ebene Fläche sollte mit einer 30 cm dicken Steinschicht bedeckt werden, was auf folgende, auch schon beim östlichen Hafenkopfe angewandte Weise bewerkstelligt wurde. Hinter dem Heck eines niedrigen Fahrzeuges wurde durch überragende Balken ein offenes Rechteck gebildet, das durch ein bewegliches Brett überbrückt werden konnte. Durch Verschieben des eingetheilten Brettes erhielt man nach einander eine Anzahl von Rechtecken gleicher Größe, für die die erforderliche Steinmenge berechnet worden war. Mit Eimern von bekanntem Inhalt wurde in jedes Rechteck die berechnete Steinmenge geschüttet, und wenn die Strömung nicht gewesen wäre, hätte dadurch eine ebene Steindecke erzeugt werden müssen. Die Strömung vertrieb aber die Steine, und obgleich die Abtrift so genau wie möglich durch Versuche festgestellt worden war, blieb doch eine Berichtigung erforderlich. Man ermittelte also durch sorgfältige Peilungen die Höhe des Grundes, die dann nöthigenfalls entweder durch erneute Baggerung oder durch erneute Steinschüttung auf das richtige Maß gebracht wurde. Auf diesem Wege gelang es, die 140 m lange und 14 m breite Steinschüttung, mit ganz geringen Abweichungen im einzelnen, auf die durchschnittliche Höhe von — 11,294 zu bringen.

Der Senkkasten traf am 9. Mai in Cuxhaven ein, safs am 16. August endgültig fest und lief am 25. September bei einer Sturmfluth ebenfalls voll Wasser. Die Anker unterhalb der Granitverblendung waren diesmal eingemauert, und die oberste Ankerreihe war verstärkt. Dennoch rifs diese wiederum, und der Kasten wurde leck. Das Mauerwerk war schon bis reichlich 2 m über Niedrigwasser aufgeführt, nur an einer Stelle fehlten einige Granitwerkstücke in der Niedrigwasserlinie. Dadurch war hier eine Lücke geblieben, die sich nach beiden Seiten treppenförmig erweiterte. Die Leckstelle war nicht zu finden, und man wufste nicht, wie die Lücke ausgefüllt werden könnte. Da geschah ein Wunder! Während der Ebbe stand das Wasser 2 m hoch in der Lücke, aber mit der steigenden Fluth verschwand es, und die Lücke konnte ungestört innerhalb weniger

Tiden ausgemauert werden. Eine Erklärung für diese ebenso räthselhafte wie willkommene Erscheinung fehlte, man vermuthete aber folgenden Hergang: Der Druck der Ebbströmung kann derart auf die Kastenwände gewirkt haben, daß die Leckstelle offen war und das Wasser in den Kasten treten mußte; während der nach Richtung und Stärke abweichenden Fluthströmung kann sich nicht nur die Leckstelle geschlossen haben, sondern auch die Kastenwände können sich soviel weiter vom Mauerwerk entfernt haben, daß die verhältnißmäßig geringe Wassermenge, die sich in der Lücke befand, in den Raum zwischen Mauerwerk und Kastenwand abfließen konnte. Ob diese Erklärung richtig ist, bleibt zweifelhaft, aber irgend eine muß jedenfalls vorhanden sein, denn die Thatsache selbst steht unwiderleglich fest. Die Füllung des Kastens konnte also ohne Verzug fortgesetzt werden, und am 23. October war sie, ohne Nacharbeit, bis zur Höhe von 15,2 m über dem Boden beendet. Am Jahresschluss waren auch die Hohlräume nahezu mit Sand gefüllt, und die Blechwände des Kastens waren bis auf Niedrigwasser beseitigt. Der Kastenboden, der am 1. August auf — 11,23 m gesessen hatte, lag auf — 11,4 m. Die Pfähle für den Treppenkasten und für die schräge Mauer waren gerammt und abgeschnitten, der Anschlusskasten war bis + 0,88 m hoch gemauert. Die Steinschüttungen am großen Kasten und unter den kleinen Senkkasten waren gemacht, und die gebaggerte Rinne hinter dem ersteren war mit 1900 cbm Baggersand, der von Blankenese herangeschleppt wurde, bis — 6 m ausgefüllt. In dieser Höhe war nämlich auch die Steinschüttung unter dem künftigen Uferdeckwerk bis an den Hafenkopf herangeführt.

Im Jahre 1894 wurden vom östlichen Hafenkopf das Mauerwerk über dem großen und dem Treppenkasten bis zur vollen Höhe von + 8 m gebracht; auch das Häuschen für das Hafenfeuer und den Fluthmesser wurde aufgestellt. Im Herbste wurde das Eisenblech des großen Kastens auf 16 m Länge bis — 8 m beseitigt. Im Mai wurde der Hafenkopf bis + 4,5 m hinterfüllt; der Sand senkte sich aber noch zu stark, um in demselben Jahre Mauerwerk darauf gründen zu können. Das östliche Uferdeckwerk wurde bis + 4,5 m fertig.

Vom westlichen Hafenkopfe wurde im Jahre 1894 das Mauerwerk über den drei Senkkästen und die schräge Mauer bis + 5 m vollendet. Die Platten des großen Kastens wurden auf 106 m Länge bis — 7,79 mit Hilfe von Tauchern und einer wagerechten Dampfkreissäge weggenommen. Die Hinterfüllung wurde bis Niedrigwasser mit 5600 cbm Baggersand und von da bis + 4,6 m mit blauem Sande geschüttet. Das westliche Uferdeckwerk wurde in derselben Höhe bis an den Hafenkopf geführt.

Im Jahre 1895 wurden vom östlichen Hafenkopfe die noch fehlenden Theile: die große Treppe, der gedeckte Gang und die Betonschüttung für den Asphalt zwischen diesen Theilen, der schrägen Mauer und dem Mauerwerk des großen Senkkastens hergestellt. Auch der registrirende Fluthmesser von Kappert in Bremen kam versuchsweise in Betrieb, hatte aber so ungenügende Ergebnisse, daß er später wieder beseitigt wurde. Das Blech des großen Kastens wurde auf einer Strecke mit einer Dampfkreissäge auf — 8 m abgesägt, dann stückweise senkrecht abgeschrotet und gehoben, wobei die unausgesetzte Mitwirkung von ein oder zwei Tauchern nothwendig war. Auf 68 m Länge war aber der untere Theil des bereits vor zwei Jahren bis — 2 m abgenommenen Bleches vollständig umgeklappt und lag mit seiner

oberen Kante auf der Steinböschung. Versuche, mit einer senkrecht wirkenden Kreissäge das Blech abzuschneiden, misflangen, weil die Säge das in der Nähe des Mauerwerkes schräg ansteigende Blech nicht anfassen wollte. Man liefs deshalb den zwei Tonnen schweren Greifer des Greiferbaggers auf das Blech fallen und rammte es dadurch nieder, was nach wiederholten Anstrengungen, die durch genaue Tiefenmessungen unterbrochen wurden, zu dem gewünschten Ziele führte.

Der westliche Hafenkopf wurde im Jahre 1895 ebenso weit gebracht, wie der östliche, und von beiden fehlte am Ende des Jahres nur der Asphalt und ein Theil der verzinkten Eisen geländer.

Diese fehlenden Theile wurden im Jahre 1896 ausgeführt. Der Asphalt mußte aber schon im Jahre 1897 ausgebessert werden, weil das auf dem Sande gegründete Mauerwerk, namentlich die große Treppe, sich stärker gesetzt hatten, als erwartet worden war. Hinter dem östlichen Hafenkopf wurden gleich nach seiner Hinterfüllung kleine Pfähle zum Messen der Senkung des Sandes eingeschlagen, und auf einer Stelle war ein Ziegelsteinhaufen von der Höhe der künftigen Treppe aufgeschichtet, um zu ermitteln, ob dadurch stärkere Senkungen bewirkt werden würden. Die Hinterfüllung hatte im allgemeinen die Höhe von 16 m, bei den Ziegelsteinen aber von 19 m. Die monatlichen Senkungen, die in beiden Fällen dieselben waren, betragen in den Monaten Juni 1894 bis Februar 1895: 15, 15, 10, 5, 7, 5, 7, 4 und 2 mm. Nach diesen Ergebnissen glaubte man, mit dem Mauerwerk auf der Sandschüttung vorgehen zu dürfen, war aber einigermaßen enttäuscht, als die Senkungen nach seiner Ausführung wuchsen statt abzunehmen, wie sich aus folgender Zusammenstellung ersehen läfst.

Oestlicher Hafenkopf.		Westlicher Hafenkopf.	
Senkungen am Hafenkopf.			
1895. Mai 10. bis Dec. 31.	109 mm	1895. Mai 14. bis Dec. 31.	96 mm
im Jahre 1896	69 "	im Jahre 1896	48 "
" " 1897	36 "	" " 1897	30 "
Zusammen 214 mm		Zusammen 174 mm	
Senkungen vor der Treppe.			
1895. Mai 10. bis Dec. 31.	166 mm	1895. Mai 14. bis Dec. 31.	185 mm
im Jahre 1896	96 "	im Jahre 1896	74 "
" " 1897	37 "	" " 1897	31 "
Zusammen 299 mm		Zusammen 290 mm	
Senkungen der untersten Treppenstufe.			
1895. Mai 10. bis Dec. 31.	180 mm	1895. Juni 7. bis Dec. 31.	178 mm
im Jahre 1896	95 "	im Jahre 1896	75 "
" " 1897	45 "	" " 1897	34 "
Zusammen 320 mm		Zusammen 287 mm	
Senkungen der obersten Treppenstufe.			
1895. Mai 10. bis Dec. 31.	241 mm	1895. Juni 6. bis Dec. 31.	230 mm
im Jahre 1896	119 "	im Jahre 1896	90 "
" " 1897	56 "	" " 1897	40 "
Zusammen 416 mm		Zusammen 360 mm	

Durch diese unerwarteten Senkungen wurde es nothwendig, den Beton vor den großen Treppen im Jahre 1896, ehe der Asphalt aufgebracht wurde, nachzuhöhen, wobei die unterste Stufe dieser Treppe leider verschwand. Die Treppen blieben sonst unversehrt, aber im Mauerwerk unter dem hohen Gange entstanden Risse, die übrigens unschädlich waren. Die Senkungen und Risse hätten sich durch ein festes Fundament mit Leichtigkeit größtentheils vermeiden lassen, allein das unterblieb, weil die Kosten für jeden Hafenkopf sich dadurch mindestens um 100 000 \mathcal{M} erhöht haben würden.

Die Hafenköpfe selbst, d. h. die in den großen Senkkasten gegründeten Theile, setzten sich auch nicht unerheblich:

Senkungen der Stromseite			
des östlichen Hafenkopfes.		des westlichen Hafenkopfes.	
	mm		mm
1892. Dec. 6. bis 1893 Dec. 31.	90	1893. Dec. 15. bis 1894 Dec. 31.	41
im Jahre 1894	20	im Jahre 1895	15
" " 1895	19	" " 1896	8
" " 1896	11	" " 1897	6
" " 1897	4		
Zusammen 144		Zusammen 70	

Die Landseite hat sich um 50 bis 60 mm weniger gesenkt und steht schon seit Jahren fest. Die Unterkante der Stromseite des östlichen Hafenkopfes liegt 30 cm unter der ursprünglichen Oberkante der Steinschüttung, die des westlichen Hafenkopfes nur 13 cm. Dementsprechend liegt die Oberkante der Stromseite des ersteren auf + 4,855 m, die des letzteren auf + 5,074 m, obgleich dieser nur 16,5 m, jener dagegen 16,7 m hoch ist. Die ausgedehntere Steinschüttung unter dem westlichen Hafenkopf macht sich in seinen Senkungen im günstigen Sinne bemerkbar, ebenso wie die Verwendung des scharfen Bagger-sandes in den Senkungen der übrigen Theile des Mauerwerkes.

Der große Druck der Erde und des Mauerwerkes, zusammen 19,5 m hoch, den die Hafenköpfe auf ihrem mittleren Theile auszuhalten haben, ist ebenfalls nicht ohne sichtbare Folgen geblieben: Die Oberkante der Stromseite des östlichen Hafenkopfes ist bis zu 138 mm, die des westlichen bis zu 74 mm ausgebaucht. Auf der Stromseite des östlichen sind vier Risse, zusammen etwa 32 mm weit, auf der Stromseite des westlichen ist ein Rifs von 26 mm Weite. Im mittleren Theile der Hafenköpfe beträgt aber auch der rechnermäßige Druck auf die vordere Unterkante 4,1 kg/qcm und auf die hintere 3,5 kg/qcm.

Bau der Mauern aufsendeichs. Zur Verbindung des östlichen Hafenkopfes mit dem Ufer war die Erbauung des östlichen Uferdeckwerkes und der östlichen Kajemauer aufsendeichs dringend nothwendig, und obgleich über die Bauart der Mauern im allgemeinen noch keine Entscheidung getroffen worden war, wurde für die fragliche Strecke vorweg die von der Hafenkante um 9 m zurückliegende und auf — 6 m zu gründende Brunnen-mauer (Abb. 1 Bl. 2) beliebt, wobei die Bestimmung über das Material der Brücke vor dieser Mauer, ob Holz oder Eisen, noch vorbehalten blieb.

Am 4. Juli 1892 wurde mit einem Unternehmer ein Bauvertrag abgeschlossen, der die Ausführung der einschließlichen des Anschlusskastens 102,65 m langen Mauer und die Erd-förderung zur Hinterfüllung der Mauer, des Hafenkopfes und des Uferdeckwerkes umfasste. In dem Vertrage war bestimmt, daß der Hinterfüllungsboden aus dem etwa 18 ha großen Haf-enloche herbeizuschaffen sei, das zu dem Zwecke leergepumpt und dann in der für den neuen Hafen erforderlichen Ausdehnung mit einem niedrigen Erddamm umgeben werden sollte. Bei der weiteren Ausgrabung war es dann nur nöthig, etwa die Hälfte des Hafenloches wasserfrei zu halten. Das Wasser im Haf-enloche, das durch ein Klappspiel mit der Elbe in Verbindung stand, stand ungefähr auf + 1 m und wurde um 3 m gesenkt. Am 13. September, nach Vollendung der Dämme im Haf-enloch, wurde zum ersten Male Hinterfüllungsboden mit Locomotiven über den Deich gefördert. Mitte November waren die 81 Pfähle für den Anschlusskasten gerammt, und der Kasten selbst lag

fertig im Hafen. Abgeschnitten wurden die Pfähle erst im nächsten Jahre.

Langsamer ging es mit den 14 Brunnen, die mit den zwischenliegenden Fugen die Mauerlänge von 87,9 m liefern sollten. Zunächst mußte zur Sicherung des Deiches gegen Unterspülung eine Spundwand quer zur Mauer geschlagen werden, und dann mußten auf beiden Seiten der künftigen Mauer Gerüste zum Tragen der Brunnenkränze und zur Materialförderung hergestellt werden. Am 19. und 27. September wurden die Betonkränze für die Brunnen I und III im Schutze des alten Klopfdammes (Lageplan Abb. 2 Bl. 1) auf dem hohen Watt gemacht und nach gehöriger Erhärtung übermauert, worauf mit der Versenkung begonnen werden konnte. Der Unternehmer grub zuerst die Erde aus und unter den Brunnen weg, um sie zum Sinken zu bringen, allein dieses Verfahren schien ihm bald zu gefährlich, weil bisweilen Durchbrüche des Wassers von außen nach innen erfolgten, die den Brunnen in wenigen Augenblicken mit Wasser füllten und die Arbeiter zur Flucht zwangen. Am 20. October liefs der Unternehmer trotz dringenden Abmahns Verticalbagger in den Brunnen aufstellen, erreichte damit aber sehr wenig, weil die Baggereimer in den steinharten Sand nicht genügend eindringen. Am 19. December entschlofs er sich zu einem Versuche mit dem im Bauvertrage empfohlenen Verfahren, das in Calais (Centralbl. der Bauverwaltung Jahrg. 1890 S. 68) mit gutem Erfolge zur Anwendung gekommen war. Mit einer Pumpe wurde durch mehrere Röhren Wasser in die Brunnen gepumpt, das eine zweite Pumpe mit dem durch das Einpumpen des Wassers aufgerührten Sande wieder hinausschaffte. Dabei war aber der Fehler gemacht worden, die Spülpumpe zu schwach zu wählen, denn sie lieferte nur ein Drittel des Wassers, das die Kreiselpumpe hätte bewältigen können. Das Ergebnifs war denn auch ebenfalls sehr mangelhaft und nach mehr als dreimonatiger Arbeit waren die beiden Brunnen am Jahresschlufs erst bis $-3,4$ m und $-3,5$ m gesenkt worden.

Im Jahre 1893 ging es nicht besser. Mitte Februar wurde zwar das erstgenannte Verfahren wieder aufgenommen, aber mit dem Unterschiede, dafs nur bei halber Tide oder bei niedrigerem Wasserstande in den Brunnen gegraben wurde, um den äufseren Druck des Wassers in mäfsigen Grenzen zu halten, und es ging vorwärts, jedoch durch andere Fehler und Nachlässigkeiten wurde der Vortheil wieder eingebüfs. Laut Bauvertrag sollten die Brunnenkränze auf dem über Hochwasser liegenden Gerüst angefertigt und dann mit Winden auf den in der Höhe von $+1$ m liegenden oder bis dahin aufzuhöhenden Grund hinabgelassen werden. Es war aber bequemer, die Kränze gleich auf dem Boden zu machen, und bei den ersten Brunnen war das auch zulässig, weil der Grund hoch lag und der alte Klopfdamm den Wellenschlag abhielt. Aufserhalb des Klopfdammes hätte es nur dann gut gehen können, wenn der frische Brunnenkranz durch geeignete Mittel gegen die Berührung mit dem Wasser geschützt worden wäre. Daran liefs der Unternehmer es aber fehlen. Schlechte Bretter, die der Seegang hin- und herbog, und etliche Sandsäcke sollten das Wasser abhalten, vermochten es aber nicht, und die Folge war, dafs die Kränze ausgespült wurden, Risse bekamen oder ganz zerbrachen. Ein Brunnen, der schon 3 oder 4 m hoch war, sollte versenkt werden, und man begann zu graben. Man grub aber nicht inwendig, sondern auswendig, und als der Brunnen sank, keilte der pyramidenförmige Erdklotz im Innern die Brunnenwände

auseinander, und der Brunnen mußte wieder abgebrochen werden. Andere zerbrachen beim Niederlassen vom Gerüst wegen unzulänglicher Winden, und im ganzen sind neun Kränze oder schon höher aufgemauerte Brunnen unbrauchbar geworden, wobei etwa 170 cbm Mauerwerk verloren gingen. Ende März und Anfang April waren die beiden ersten Brunnen bis zur vorschriftsmäfsigen Tiefe von -6 m versenkt, und es hatte sich dabei die erfreuliche Thatsache herausgestellt, dafs der Wasserzudrang im Innern des Brunnens vollkommen aufhörte, sowie die Unterkante der Brunnen den Klei erreicht hatte. Man konnte sie also mit völliger Ruhe im trocken mit Beton füllen. Nachdem am 31. Mai der Anschlußkasten versenkt worden war, wurde von der Bauverwaltung eine 37 m lange Spundwand längs der Aufsenkante des Brunnengerüsts geschlagen und an den Anschlußkasten geschlossen; sie hatte den Zweck, das Wegtreiben des Sandes, das grofse Ausdehnung anzunehmen drohte, zu verhüten und sollte zugleich den Unternehmer unterstützen. Ein Theil der Brunnenkränze wurde nun auf Holzrahmen gesetzt, die mit dem Mauerwerk verankert wurden, und viele Brunnen wurden zur Beförderung des Sinkens mit Eisen belastet, der letzte sogar mit 56 t, aber das alles förderte auch nicht wesentlich.

Am Ende des Jahres waren sämtliche Brunnen bis zur vollen Tiefe hinunter, aber erst 13 davon gefüllt, und die Vollendung der ganzen Mauerstrecke erfolgte erst am 10. Mai des nächsten Jahres.

Inzwischen war am 14. Februar 1893 die Genehmigung der vorgelegten Entwürfe zu den Mauern binnendeichs, der westlichen Mauer aufsendeichs und der Holzbrücken vor den Brunnenmauern erfolgt, und infolge eines Ausschreibens wurde der Baufirma Holzmann u. Co. in Frankfurt a. M. die Ausführung sämtlicher noch rückständigen Mauern, Erdarbeiten, Brücken usw. für die Summe von etwa $3\frac{1}{2}$ Millionen Mark am 1. Mai 1893 übertragen. Die Bestimmungen des Bauvertrages über die Brunnenmauer nebst Anschlußkasten, zusammen 83,75 m lang, waren dieselben wie für die östliche Mauer, aber es zeigte sich bald, dafs die Bauleitung nicht dieselbe war. Im Juni war schon die Spundwand am Deich fertig, im folgenden Monate die auf Deichhöhe liegenden Gerüste zu beiden Seiten der Brunnenmauer, und am 22. August wurde der erste Brunnen begonnen. Mitte September waren dieser und der dritte Brunnen bis zur Tiefe von -6 m gesenkt und bis $+3$ m mit Beton gefüllt. Am 13. December waren neun Brunnen ebenso weit, und die beiden noch übrigen blieben dem nächsten Jahre vorbehalten.

Mit ähnlicher Schnelligkeit wurde der Anschlußkasten erbaut. Im October wurde schon mit dem Abschneiden seiner Pfähle begonnen, und nachdem die Zwischenräume der Pfähle mit Steinen ausgefüllt waren, wurde der Senkkasten am 13. November mit 2,87 m Tiefgang zu Platz gebracht und am 1. December bis $+0,88$ m vollendet.

Für den Senkkasten war die Arbeit dadurch etwas erleichtert, dafs man statt der sechs kreisrunden Hohlräume, die theils durch Ziegelmauerwerk und theils durch Beton gebildet wurden, fünf viereckige Hohlräume gewählt hatte, wobei auf die Verwendung von Beton ganz verzichtet worden war. Ebenfalls war die Versenkung der Brunnen durch abweichende, vom Unternehmer getroffene Einrichtungen erleichtert und sicherer gemacht worden. Das Verfahren des Senkens selbst blieb zwar das alte, nämlich Ausgraben der Erde durch Handarbeit und Aufwinden

der ausgegrabenen Erde in Kübeln, aber die Brunnenkränze waren verändert, und die Brunnen wurden während der Versenkung von sechs Schraubenspindeln getragen, wodurch sie stets sicher geführt und vor dem Schiefen geschützt wurden. Die Kränze bestanden aus liegenden I-Trägern N.-Pr. Nr. 30, die durch ein aufsenliegendes, mit ihnen vernietetes Stehblech von 400×10 mm verstärkt waren. Auf den vier Ecken war der obere Flansch der Träger abgehauen, und ein Eckblech von $560 \times 560 \times 10$ mm, mit einer unteren, zwischen den Flanschen liegenden Lasche vernietet, verband die einzelnen Träger. Auf vier Stellen der Langseiten und auf drei Stellen der Schmalseiten waren die I-Träger mit den senkrechten Stehblechen mit Hilfe von Winkeleisen durch senkrechte Eckbleche mit einander verbunden. Durch 16 Anker von 2,2 m Länge und 30 mm Durchmesser war der Kranz mit dem aufgehenden Mauerwerk vereinigt. In den vier Ecken und in der Mitte der Langseiten waren in dem Mauerwerk, das ganz aus Ziegelsteinen bestand, Hohlräume für die Spindeln von 80 mm Durchmesser ausgespart, die aber, weil die Brunnen oben schmaler wurden, nur für den kleineren Theil der Brunnenhöhe nöthig waren. Die Brunnen wurden auf dem Gerüst bis 3 m Höhe aufgemauert und nach gehöriger Erhärtung an den Spindeln hinuntergelassen. Die Spindeln wurden erst losgeschraubt, wenn der Brunnen bis zur vollen Tiefe hinuntergebracht war. Das ganze Verfahren bewährte sich vortrefflich, obgleich der eiserne Kranz von 2750 kg Gewicht und die sehr sorgfältig gearbeiteten Spindeln mit Zubehör, die übrigens in diesem Falle bereits zum Inventar der Firma gehörten, als besondere Kosten in Rechnung gestellt werden müssen.

Im April des Jahres 1894 waren die beiden letzten Brunnen X und XI bis zur vollen Tiefe versenkt. Bei Brunnen XI erwies sich der Grund so weich, daß beim Lösen der Spindeln die beabsichtigte Tiefe um 0,64 m überschritten wurde, und Brunnen X sank ebenfalls bis — 6,3 m. In jeden der beiden Brunnen wurden zur Vergrößerung der Tragfähigkeit vor der Betonfüllung vierzehn Pfähle bis — 10,7 m eingerammt und auf — 5,6 m abgeschnitten.

Das Entleeren der Fugen zwischen den Brunnen war ziemlich mühselig. Sie wurden vorne und hinten durch eingerammte Bohlen abgeschlossen, und dann wurde der Boden durch Spülen und Kratzen entfernt, worauf die Füllung mit Beton entweder im trocknen oder durch kleine Kasten, die sich unter Wasser öffnen ließen, erfolgte. Das Mauerwerk der Brunnen und des Anschlußkastens war im December ganz fertig.

Beim östlichen Anschlußkasten war schon im Anfange des Sommers eine Ausweichung von etwa 13 cm bemerkt worden. Die Steinschüttung zwischen und vor den Pfählen sollte diese halten, allein das geschah in so geringem Grade, daß sogar der 22 m lange Treppenkasten, der den Erddruck nur auf der schmalen Seite auszuhalten hatte, im Laufe der Jahre sich mindestens um 6 cm hafenswärts bewegte. Vor jedem der beiden Anschlußkastens wurden deshalb im Sommer sechs Böcke aus starken Pfählen gerammt, gegen die die Kasten abgestützt wurden. Dadurch wurde die Bewegung zwar nicht ganz verhindert, aber doch auf ein ungefährliches Maß beschränkt, denn bei dem östlichen Anschlußkasten betrug die Ausweichung bis zum Ende des Jahres 1897 im ganzen etwa 20 bis 25 cm.

Die starke Nachgiebigkeit des Kleibodens machte sich auch bei den Brunnenmauern bemerkbar, denn diese senkten sich:

Im Jahre	1894	1895	1896	1897
Ostmauer	vom 14. April bis 31. Dec. 26 mm	75 mm	86 mm	50 mm
Westmauer	vom 6. Sept. bis 31. Dec. 22 mm	41 mm	67 mm	44 mm

Die verhältnißmäßig starke Senkung im Jahre 1896 ist, wie die Einzelbeobachtungen ergeben, eine Folge der in demselben Jahre vorgenommenen Baggerung. Obgleich die Baggerung sich der äußeren Brunnenkante nur bis auf 9 m näherte und daselbst nur 0,5 tiefer als die Brunnensohle reichte, war doch in den der Baggerung folgenden Monaten eine merkliche Zunahme der Senkungen wahrzunehmen, die erst allmählich wieder einen langsameren Fortgang annahm.

Bau der Mauern binnendeichs. Der am 1. Mai 1893 mit Holzmann u. Co. abgeschlossene Vertrag umfasste etwa 600 000 cbm Erdförderung, die Herstellung von 48 000 cbm Mauerwerk und die Rammung von mehr als 8000 Pfählen und 2500 m Spundwänden, alles einschließend der Lieferung der Materialien und des Eisenzeuges zu den Pfahlrosten, Pollern, Schiffsringen, Leitern und Streichpfählen. Die Unternehmer sollten die Baugrube bis — 4 m im trocknen ausheben, von — 4 bis — 6,5 m durch Baggerung und den gebaggerten Boden aufs Land heben und landwärts verfahren. Von — 6,5 bis — 9 m sollte der Boden staatsseitig gebaggert und aus den Baggerprämen von den Unternehmern gehoben und weiter befördert werden. Mit Ausnahme dieser letztgenannten Leistung sollten sämtliche Arbeiten bis zum 31. December 1895, also in zwei- und dreißig Monaten, fertig sein. Die Unternehmer sollten sich auf eine Wasserförderung von 8 cbm in jeder Minute einrichten, hatten aber thatsächlich zu keiner Zeit mehr als höchstens die Hälfte dieses Quantum zu bewältigen. Lagerplätze für die Materialien standen auf der Westseite des Hafens in genügender Ausdehnung zur Verfügung, und auf der Südseite des Fischerhafens wurde eine Brücke in Deichhöhe zum Lösen von Kies und Ziegelsteinen erbaut, auf der Ostseite eine zweite zum Aufwinden der Pfähle und Bauhölzer. Ein ausgedehntes Eisenbahnnetz, das bis zur Tiefe von — 4 m in den Hafen führte, wurde zur Erd- und Materialförderung angelegt und vorzugsweise mit Locomotiven befahren.

Nachdem der Boden unter einem Theile der westlichen Hafensmauer bis zur Tiefe von — 3 m entfernt worden war, wurde am 1. Juli mit dem Schlagen der Spundwände und am 1. August mit dem Rammen der Grundpfähle begonnen. Die Spundbohlen gingen zwar willig hinunter, allein in der ersten Zeit kam es mehrfach vor, daß der Raum zwischen ihnen, der 1 m weit sein sollte, nach dem Ausgraben des Bodens zu gering ausfiel und bis auf 0,66 m sank. Auf verschiedenen Stellen, zusammen von 20 m Länge, mußte deshalb die hintere Spundwand zum zweiten Male gerammt und die zuerst gerammte wieder beseitigt werden. Später wurde größere Vorsicht beim Absteifen angewandt, und der Raum zwischen Pfahl und vorderer Spundwand durfte nicht unter 30 cm, der zwischen Pfahl und hinterer Spundwand nicht unter 20 cm betragen. Nöthigenfalls wurden die Spundwände beim Pfahl etwas ausgehöhlt oder der Pfahl, der oben durchschnittlich 49 cm Durchmesser hatte, etwas abgearbeitet. Nachdem die Pfahlreihe zwischen den Spundwänden gerammt war, mußte der Boden zum zweiten Male bis zur richtigen Tiefe von — 8 m bis — 8,5 m ausgehoben werden, weil er wieder hochgerammt worden war, und zwar beispiels-

weise auf einer näher untersuchten Strecke um 44 cm. Es machte dann keine Schwierigkeit, den Beton im trocknen einzubringen, obgleich das durch die Fugen der Spundbohlen eindringende Wasser bisweilen unbequem wurde. Wegen der Enge des Raumes zwischen den Spundwänden, Pfählen und Steifen war eine unablässige Aufsicht bei diesen Arbeiten dringend erforderlich, allein bei verschiedenen Gelegenheiten erwies sich der Beton bis zur vollen Tiefe von — 8,5 m hinunter von tadelloser Beschaffenheit.

Die Pfähle, die mit Bären von 1250 und 1450 kg Gewicht mit 3 bis 3,5 m Fallhöhe eingeschlagen wurden, erlangten im allgemeinen eine große Festigkeit. Beispielsweise zogen von 407 beliebig ausgewählten Pfählen 386 bei den letzten zehn Schlägen 2 bis 30 cm, durchschnittlich 12 cm. Die übrigen 21 zogen aber in den letzten zehn Schlägen 31 bis 97 cm, durchschnittlich 52 cm. Anfänglich wurde, wenn ein Pfahl zu stark gezogen hatte, der nächste Pfahl länger genommen, allein es war dann oft unmöglich, ihn ganz wegzurammen, und er mußte abgeschnitten werden. Später schlug man, wenn ein Pfahl in den letzten zehn Schlägen mehr als 30 cm gezogen hatte, einen zweiten dahinter, und auf diese Weise wurden 106 überzählige Pfähle eingerammt. Die Ursache des leichteren Eindringens einzelner Pfähle blieb unbekannt, es stellte sich aber heraus, daß sie bald ohne weiteres Zuthun einen festeren Stand annahmen: z. B. 15 Pfähle, die in den letzten zehn Schlägen durchschnittlich 66 cm gezogen hatten, wurden am folgenden Tage nachgerammt und zogen dann durchschnittlich nur noch 48 cm in zehn Schlägen. Spuren von ungenügender Festigkeit des Pfahlrostes sind auch später nirgends zu Tage getreten.

Bis zum Schlusse des Jahres 1893 waren 1500 Pfähle und 1400 m Spundwände gerammt; auf 459 m Länge war der Beton zwischen den Spundwänden bis — 3 oder — 3,5 m eingebracht. Im Jahre 1894 wurden 5500 Pfähle und 850 m Spundwände gerammt, wobei nur ein einziger störender Zwischenfall eintrat. Auf drei Stellen waren zwischen den Spundwänden Quellen aufgetreten, die aus der Tiefe kamen, wie der gelbe Sand, den sie zu Tage förderten, bewies. Zwei von ihnen ließen sich leicht unschädlich machen, aber die dritte, in der östlichen Mauer des Hafennarmes 132 m vom Süd-Ende belegen, verursachte viel Arbeit und Kosten. Sie sprang am 6. Juli beim Schlagen der vordersten Pfahlreihe auf, nachdem die anderen Pfahlreihen schon sämtlich zu Platz waren. Anfänglich lieferte sie $\frac{3}{4}$ cbm Wasser in einer Minute, später wohl mehr. Durch Querspundwände, Pumpen und Dichtmachen der Fugen bemühte man sich in die Tiefe zu gelangen, aber alles war vergeblich. Im August rückte die Quelle um zwei Pfähle südlicher und bildete einen Kolk bis zur Tiefe von — 11,5 m. Mit dem Pumpenwasser gelangte soviel Sand aus der Tiefe zum Abflus, daß eine gefährliche Unterspülung der Kleischicht zu befürchten war, und man mußte sich zuletzt entschließen, auf 9 m Länge einen Theil der Versteifungen zwischen den Spundwänden sitzen zu lassen. Die Spundwände in der Nähe der Quelle waren inzwischen schon um 15 cm ausgewichen und hatten sich fast um 30 cm gesenkt. Der Kolk der Quelle wurde nun von — 11,5 m bis — 8,5 m mit Sandsäcken ausgefüllt und darauf die Füllung des Raumes zwischen den Spundwänden theils mit Beton von der Mischung 1 : 6 in Säcken, theils mit Beton von der Mischung 1 : 3, der unter Wasser eingebracht wurde, und theils mit reinem Cement fortgesetzt. Auf — 4 m wurde ein Abflußrohr durch

die äußere Spundwand geführt, und auf übergedeckter, wasserdichter Leinwand konnte der weitere Beton im trocknen eingebracht werden. All diese Arbeiten wurden mit größter Sorgfalt ausgeführt, und es haben sich weder bis jetzt durch die Quelle bewirkte Schäden gezeigt, noch sind sie künftig zu befürchten. Zwei bis unter das Abflußrohr reichende Röhren von 4 cm Durchmesser wurden aufwärts bis zur Deckplatte geführt und später, nach Eröffnung des Hafens, mit 900 l Cement vollgossen, um die Zwischenräume der Säcke soviel wie möglich zu füllen. Die durch die Quelle bei dreimonatiger Arbeit verursachten Ausgaben betragen für den Staat, der die Materialien zu liefern hatte, 2700 *M*, für die Unternehmer schwerlich weniger an Arbeitslohn und Geräth.

In den ersten Tagen des April, nachdem das Fundament für die Mauer auf einer großen Strecke fertig gestellt war, die Pfahlreihen durch eiserne Bänder verbunden waren und der Boden auf — 3 m geebnet, wurde die Schalung für die Mauer aufgestellt und mit dem Schütten des Betons begonnen. Zwei Mörtelmischmaschinen bereiteten den Beton, der in Muldenkippern mit Hülfe eines Gerüsts, das zunächst auf + 1,5 m, später auf + 5 m lag, der Mauer zugeführt und in Schichten von 0,25 cm Dicke gestampft wurde. Diese Arbeit dauerte bis zum Jahresschlusse; 36 000 cbm Beton waren verarbeitet, und die Mauer, soweit sie binnendeichs gemacht werden konnte, stand auf 1039 m Länge bis auf die Deckplatten fertig da. Anfang October waren die Mauer-Enden durch niedrige, bis + 1,1 m reichende Klopfdämme an den Deich geschlossen, und auch an den äußeren Klopfdämmen, die wegen möglicher Sommersturmfluthen bis + 5,5 m reichten, wurde gearbeitet. Am 30. September, bei einem Wasserstande von — 4,02 m in der Baugrube, hörte man auf zu pumpen. Im November wurde Wasser aus der Elbe in den Hafen gepumpt und dadurch der Wasserspiegel allmählich bis zur Niedrigwasserhöhe gehoben. Dies war deshalb nothwendig, weil die Unternehmer im Anfange des Monates einen Dampfbagger nebst Schleppdampfer und fünf Prähmen über den Deich in die Baugrube geschafft hatten, um mit ihm im nächsten Jahre die Vertiefung des Hafens um weitere $2\frac{1}{2}$ m fortsetzen zu können. Zum Wegschaffen des gebaggerten Bodens sollte ein Elevator dienen, der in Form eines Trockenbaggers auf der Mitte der östlichen Mauer des Hafennarmes aufgestellt worden war. Die Mauer wurde an dieser Stelle noch in demselben Jahre bis zur vollen Höhe hinterfüllt, um die Eisenbahngleise bis an den Elevator führen zu können.

Anfang April des Jahres 1895 waren die beiden äußeren Klopfdämme fertig, und mit dem Ausgraben der Baugruben für die beiden noch fehlenden Mauerstrecken, 58 m Länge auf der Ostseite und 66 m Länge auf der Westseite, konnte begonnen werden. Anfang September waren diese Mauern fertig, und nachdem inzwischen der Deich quer durch den Hafen bedeutend erniedrigt worden war (Abb. 4 Bl. 1), wurde am 28. September dem Wasser der Elbe der Zutritt zum neuen Hafen eröffnet. Der Binnenwasserstand war + 0,3 m, und da der Deich nur auf einer kurzen Strecke auf + 1,5 m lag, sonst aber höher, ergoß sich das Wasser stundenlang überfallartig über dieses Hinderniß, bis die Ausgleichung des Wasserspiegels eingetreten war. Anfang December waren die Erdarbeiten vollendet, nachdem die Unternehmer in diesem Jahre etwa 203 000 cbm gebaggert und gehoben und 62 000 cbm abgegraben hatten. Am 31. December, genau zur vertragsmäßigen Zeit, konnten die Unternehmer die

sämtlichen von ihnen übernommenen Arbeiten in tadellosem Zustande abliefern. Bei so umfangreichen Arbeiten ein seltenes Beispiel von Pünktlichkeit, das Zeugniß ablegt für die ungewöhnliche Thatkraft und Sachkunde der ausführenden Techniker.

Das Jahr 1896 brachte eine Ueberraschung unliebsamer Art. Sämtliche Mauern waren vor dem Einlassen des Wassers bis über Hochwasserhöhe und gleich danach bis zur vollen Höhe hinterfüllt worden. Schon im November 1895 zeigten sich Risse im Erdreich hinter der westlichen Mauer, denen anfänglich keine Bedeutung beigelegt wurde. Eine am 21. December 1895 vorgenommene Messung ergab aber, daß die gerade Strecke der Mauer auf 270 m Länge um 21 cm ausgewichen war, und die Ausweichung wuchs bis zum April 1896 um fernere 4 cm. Die Hinterfüllungserde war zwischen der Mauer und den 15 m von Vorderkante Mauer entfernten Rissen durchschnittlich um 12 cm gesunken. Das schlimmste war, daß die Mauer vielfach Längsrisse zeigte, die meistentheils von + 1,5 m auf der Hinterseite sich schräg abwärts bis + 0,5 m auf der Vorderseite erstreckten und stellenweise so stark waren, daß Wasser durchfloß. In der Nähe der Risse war das Mauerwerk bisweilen förmlich zerplatzt, und obgleich die Risse im allgemeinen nicht den Betonschichten folgten, so kamen doch auch Stellen vor, wo die Schichten sich um ein wenig auf einander bewegt hatten; selbst die 25 cm starke, fettere Betonschicht auf der Vorderseite der Mauer hatte sich an einzelnen Punkten von dem hinteren Theile der Mauer gelöst. Eine Erklärung für die Summe dieser Erscheinungen glaubte man in dem Verhalten des Hinterfüllungsbodens zu finden. Der mehrerwähnte feine, blaue Sand, der zur Hinterfüllung benutzt werden mußte, war größtentheils ziemlich trocken im Sommer eingebracht, während der Wasserstand in der Baugrube auf — 3 m oder noch tiefer gehalten worden war. Als das Pumpen im August aufhörte, mußte das Grundwasser steigen, wobei der Sand sich vermuthlich streckenweise plötzlich setzte und dadurch auf die betroffenen Stellen der Mauer einen so starken Druck ausübte, daß sie nicht zu widerstehen vermochte, sondern ausweichen mußte. Bei diesem streckenweisen Ausweichen wurde die Mauer auf Biegung beansprucht, und die dadurch in der Mauer erzeugten Spannungen waren so stark, daß ihre schwächeren Theile, die oberen nämlich, geknickt wurden und zerbrachen. Mit dieser Erklärung steht im Einklange, daß die Mauer nicht überall beschädigt war, sondern mit Unterbrechungen, und im ganzen etwa auf 250 m Länge. Ihr Süd- und Nord-Ende war völlig unversehrt geblieben, weil der Boden dort noch hoch genug lag, um eine Ausweichung der Mauer ganz zu verhindern. Die eigentliche Schuld ist wohl der Nachgiebigkeit des Kleibodens zuzuschreiben: die Baggerung vor der Mauer war gerade bis auf den Kleiboden erfolgt, und wenn die Grundpfähle der Mauer nicht 8 m in dem Klei, sondern nur im Sande gesteckt hätten, so würden sie ohne Zweifel ihren Stand unverrückbar behauptet haben und die Mauer hätte nicht ausweichen können.

Allzuschlimm war die Sache allerdings nicht, weil der untere Theil der Mauer unverletzt geblieben war, aber geschehen mußte etwas, um den Fall unschädlich zu machen. Dabei war es ein glücklicher Umstand, daß man sich inzwischen entschlossen hatte, für die Krahn, die mit einem Räderpaar auf der Mauer, mit dem anderen auf einer 5,1 m von der Vorderkante der Mauer entfernten Schiene laufen sollten, eine senkrechte Mauer auf dem hinteren Absatz der Kajemauer zu errichten. Man hatte nur

nöthig, diese Krahnleismauer angemessen zu verstärken, um durch sie zugleich den oberen Theil der Kajemauer zu sichern. Es wurden also auf dem Mauerabsatz in lichten Abständen von 7 m Pfeiler von 3 m Stärke aus Beton hergestellt, die quer zur Kajemauer 3,43 m dick waren und bis + 3,5 m reichten. In diese Pfeiler wurden Anker von 6 cm Durchmesser einbetonirt, die durch die Kajemauer reichten und auf deren Vorderseite nach Erhärtung des Betons und Mörtels angeschraubt wurden. Die Pfeiler hatten in der Längsrichtung Ansätze von 0,5 m Länge und 0,66 m Stärke. Die dazwischen befindliche Lichtweite von 6 m wurde in derselben Stärke mit Ziegelsteinen überwölbt, und auf den Pfeilern und dem Gewölbe ruhte der bis zur Langschwelle des Krahnleises reichende Beton. Auf den schlechtesten Stellen wurde zur größeren Sicherheit ein zweiter Anker auf + 1,5 m in die Pfeiler gelegt. Der beschädigte Beton auf der Vorderseite der Mauer wurde durch Klinkermauerwerk ersetzt, auf der Rückseite durch Ziegelmauerwerk oder Beton. Um die Pfeiler herstellen zu können, mußte man die Hinterfüllung bis auf Niedrigwasser wegnehmen. Auf den obersten 2 m geschah dies in der Breite von 15 m. Dann wurde unmittelbar hinter der Mauer eine Spundwand geschlagen und gegen die Mauer abgesteift, worauf der Boden zwischen Spundwand und Mauer entfernt werden konnte. Nach Vollendung des Mauerwerkes wurde anstatt des weggenommenen Sandes die Mauer mit Klei, der gründlich gestampft wurde, hinterfüllt. Der Klei wurde im Hafen durch Baggerung von — 6,5 m bis — 9 m gewonnen, dann auf ebenen Flächen ausgebreitet und getrocknet und darauf hinter die Mauer gebracht. Da die Krahnleismauer auf einer Länge von 448 m erforderlich war, wurden auch die Pfeiler auf der ganzen Strecke hergestellt, obwohl sie nicht überall nöthig gewesen wären.

Sämtliche Arbeiten, mit Ausnahme des Stampfens, wurden von Holzmann u. Co. im Anschluß an ihren früheren Vertrag übernommen und von ihnen in den drei Monaten Juli bis September 1896 erledigt. Die Kosten beliefen sich im ganzen auf 110 000 *M*, wovon die Hälfte billigerweise der Krahnleismauer zur Last geschrieben werden kann.

Die Mauer hat sich seitdem tadellos gehalten und keinerlei Spuren von Schwäche gezeigt, obwohl ihre Ausweichung sich vom 4. April 1896 bis 31. December 1897 etwa um 4 cm vergrößert hat. Aehnliche Ausweichungen finden vermuthlich bei jeder Mauer statt, solange bis der Hinterfüllungsboden vollständig zur Ruhe gekommen ist. Die Mauern auf der Ostseite wichen sämtlich, und zwar ganz allmählich, im ganzen nur um 7 bis 13 cm aus; sie sind in der günstigen Lage, daß ihr Hinterfüllungsboden nach dem nahegelegenen Hafenloche entwässern kann, wodurch die Schwankungen im Grundwasserstande fast ganz verschwinden.

Im Jahre 1897 konnten nur die Klinkerwege rings um den Hafen und nach den Hafenköpfen hergestellt werden, da die Verhandlungen über die Eisenbahngleise und über die Gebäude für die Hamburg-America-Linie noch in der Schwebe waren.

Baggererei. In der Erwartung, daß in dem neuen Hafen vorwiegend Schlick zu baggern sein würde, war die Anschaffung eines Kolbenpumpenbaggers — von der Art, wie sie zuerst in Bremerhaven mit großem Vortheil zur Verwendung gelangt ist — in Aussicht genommen. Ein Versuch mußte über seine Zweckmäßigkeit entscheiden, und dieser wurde im Herbste 1896 an-

gestellt, nachdem ein Jahr seit dem Durchstechen des alten Deiches verfloßen war. Dabei ergab sich nun, dafs im größeren Theile des Hafens allerdings reiner Schlick, der aufgepumpt werden konnte, abgelagert war, dafs jedoch im Vorhafen nach der Ostseite hin, etwa in der Hafemitte beginnend, der Schlick immer sandhaltiger wurde und an der Ostmauer selbst in reinen Sand überging. Das Einheitsgewicht der abgelagerten Stoffe wuchs entsprechend, wie spätere Untersuchungen bestätigten, von 1,3 im Arm und auf der Westseite, auf 1,4 in der Längsachse des Vorhafens und auf 1,6 bis 1,9 an seiner Ostseite. Diese Vertheilung erscheint ziemlich auffallend, tritt aber in ganz ähnlicher Weise auch in den anderen Cuxhavener Häfen auf. Es fällt nämlich während der Ebbe ein starker Strom am westlichen Hafenkopf in den Hafen, läuft, allmählich schwächer werdend, an der Westmauer hin, ohne das Wasser mit merklicher Geschwindigkeit an irgend einer Stelle wieder hinauszuführen. Während der Fluth ist eine ähnliche, bei dem östlichen Hafenkopf in den Hafen tretende Strömung nicht zu bemerken. Die Verschiedenheit des Einheitsgewichtes des Wassers an der Oberfläche und in der Tiefe*) mufs dabei eine Rolle spielen, aber in welcher Weise, ist bisher noch nicht festgestellt worden. Keinesfalls erschien unter diesen Umständen die Einstellung eines Pumpenbaggers rathsam, und da es aufser den Eimerbaggern keine andere Baggerart giebt, die Sand und Schlick gleich vorthellhaft baggert, so wurde ein Eimerbagger für eine Bagbertiefe von 12,5 m und eine stündliche Leistung von 1500 cbm bestellt, der zur Zeit im Bau begriffen ist.

Ueber das Mafs der Aufschlickung sind genügende Erfahrungen noch nicht gesammelt. Wahrscheinlich wird sie 2 m oder darüber jährlich betragen, während sie in den anderen Häfen nicht ganz 1 m erreicht.

Baukosten. Die Ausgaben für den tiefen Hafen betragen bis zum Schlusse des Jahres 1897:

*) Sieh „Strömung und Salzgehalt der Elbe bei Cuxhaven“ im Jahrgange 1888 dieser Zeitschrift.

1. 1 095 000 cbm Boden zu graben oder zu baggern, mit Nebenarbeiten	967 121 M
2. 3669 qm Uferdeckwerk aus 32 cm dicken Betonblöcken, mit Nebenarbeiten	61 896 „
3. 186 m Anschlußkasten und Brunnenmauern	359 761 „
4. 186 m Brücke vor den Anschlußkasten und Brunnenmauern	167 896 „
5. 1163 m Mauern binnendeichs	2 421 958 „
6. 40 m Brücke vor der Dockeinfahrt	28 421 „
7. Nebenausgaben beim Bau der Mauern, theils Unternehmergeinn	118 760 „
8. Verstärkung der Westmauer und Bau von 448 m Krahngleismauer	109 979 „
9. Zwei Hafenköpfe	2 046 170 „
10. Versuche mit einer Schlickpumpe und Anschaffung von 2 Baggerprähmen zu 60 cbm	32 724 „
11. Für 186 m verankerte Spundwände mit 3 m hohem Uferdeckwerk vor den Hafearmen und der Dockeinfahrt	53 610 „
12. 10 025 qm Pflaster aus Bockhorner Klinkern auf den Kajen	53 623 „
13. Registrirender Fluthmesser, zwei eiserne Gebäude auf den Hafenköpfen, zwei Dalben im Hafen, Brücke über den Neufelder Graben und Thonrohrleitungen zwischen den Deichen	22 250 „
14. Gehalte an Techniker	87 042 „
15. Bureaugebäude und Bureaukosten, Mefshülften u. dgl.	29 882 „
16. Schürfloch, Bohrungen und Nebenarbeiten	45 762 „
Zusammen	6 606 855 M

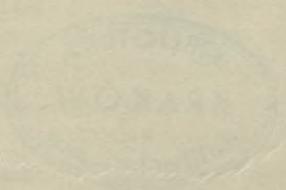
Hinzuzurechnen sind noch 126 089 Mark für 23 614 t oder etwa 15 750 cbm Steine, die unter, vor und neben den sechs Senkkasten und den schrägen Mauern geschüttet worden sind.



1. Die ...
 2. Die ...
 3. Die ...
 4. Die ...
 5. Die ...
 6. Die ...
 7. Die ...
 8. Die ...
 9. Die ...
 10. Die ...

Die ...
 Die ...
 Die ...
 Die ...
 Die ...
 Die ...
 Die ...
 Die ...
 Die ...
 Die ...

Halle a. S., Buchdruckerei des Waisenhauses.



S. 61

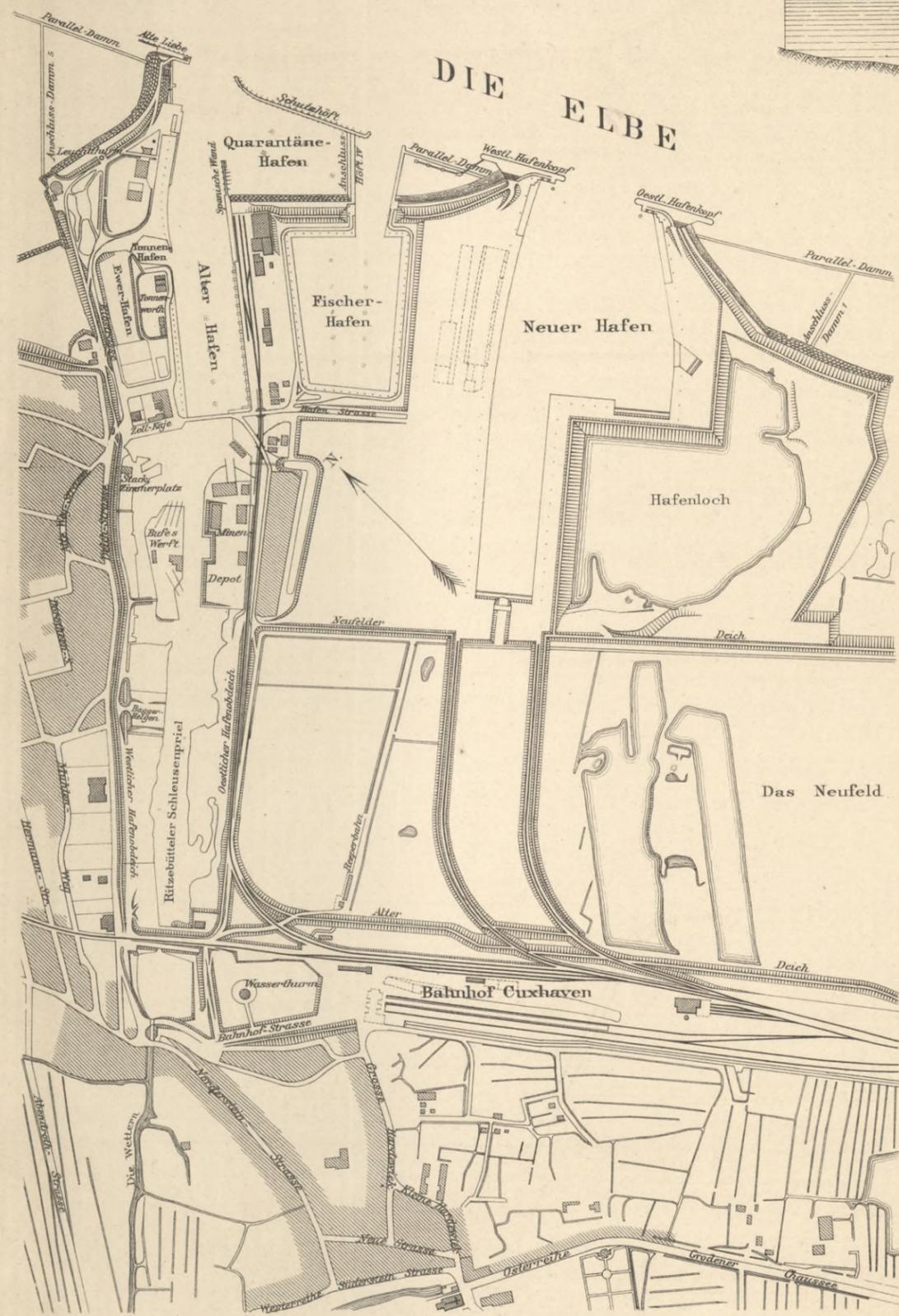


Abb. 1. Übersichtsplan.

1: 8000.

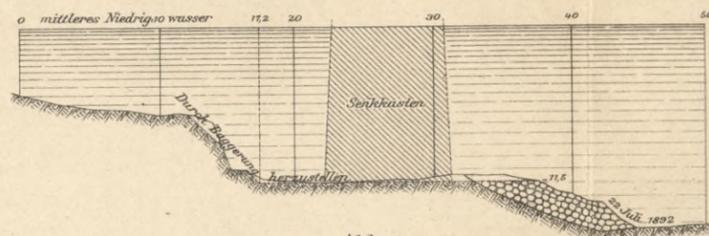
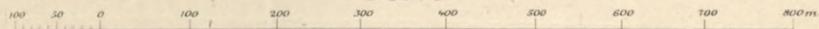


Abb. 3. Schnitt durch den Hafenkopf. 1: 500.

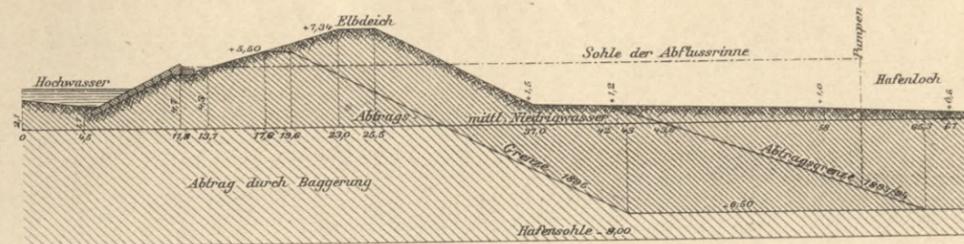


Abb. 4. Schnitt 1 (s. Abb. 2). 1: 500.

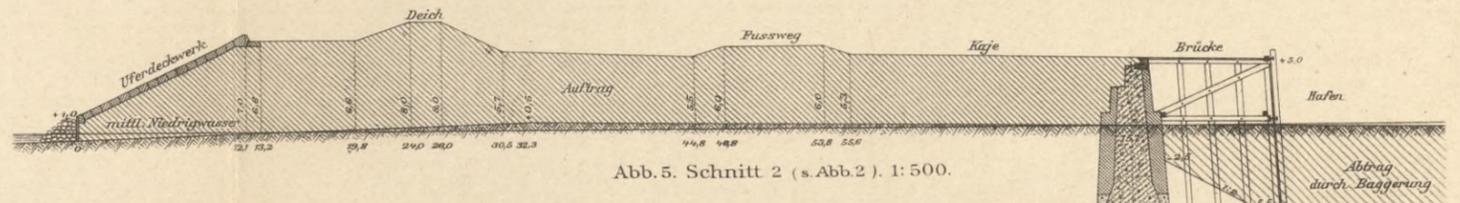


Abb. 5. Schnitt 2 (s. Abb. 2). 1: 500.

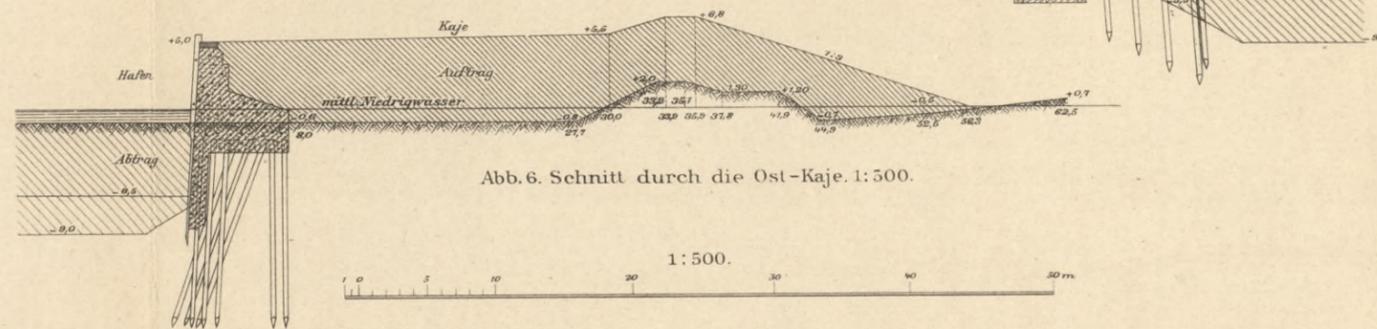


Abb. 6. Schnitt durch die Ost-Kaje. 1: 500.

1: 500.

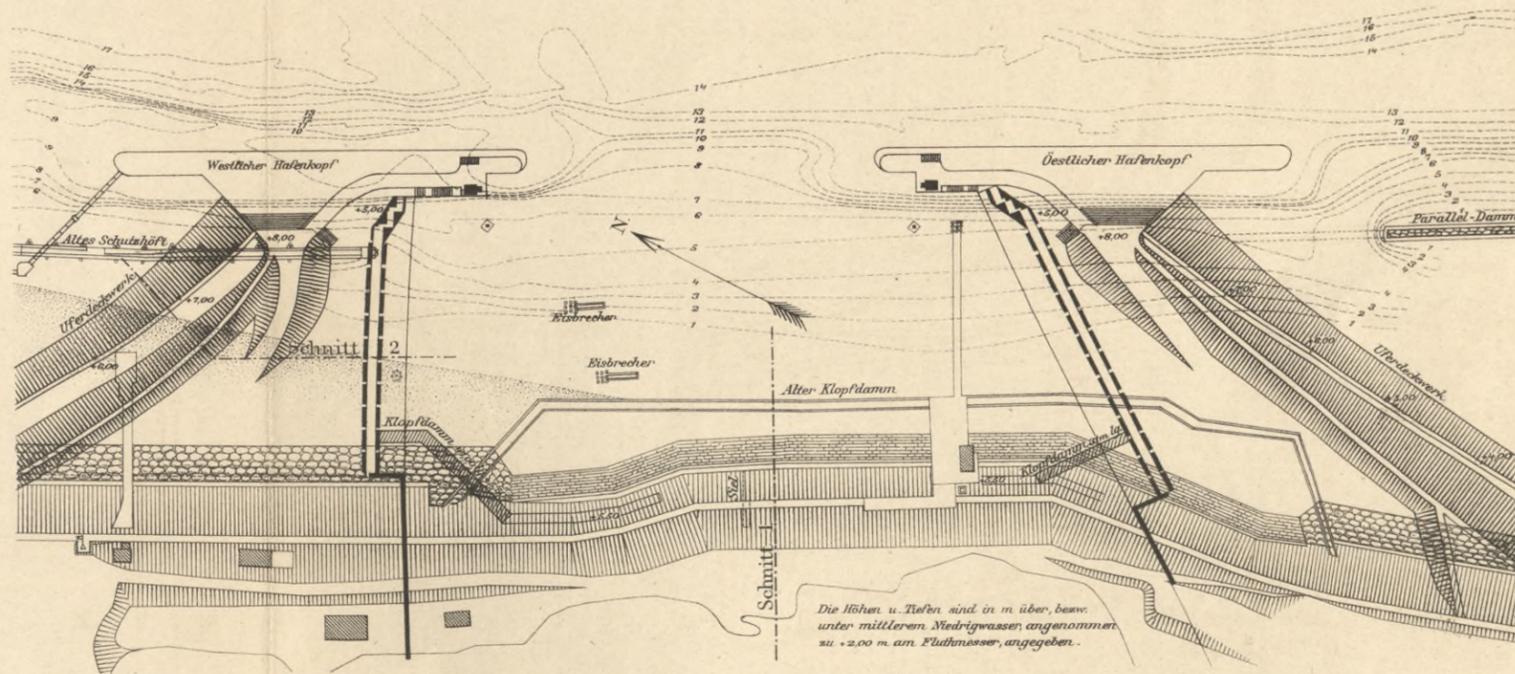
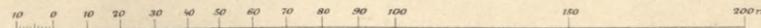
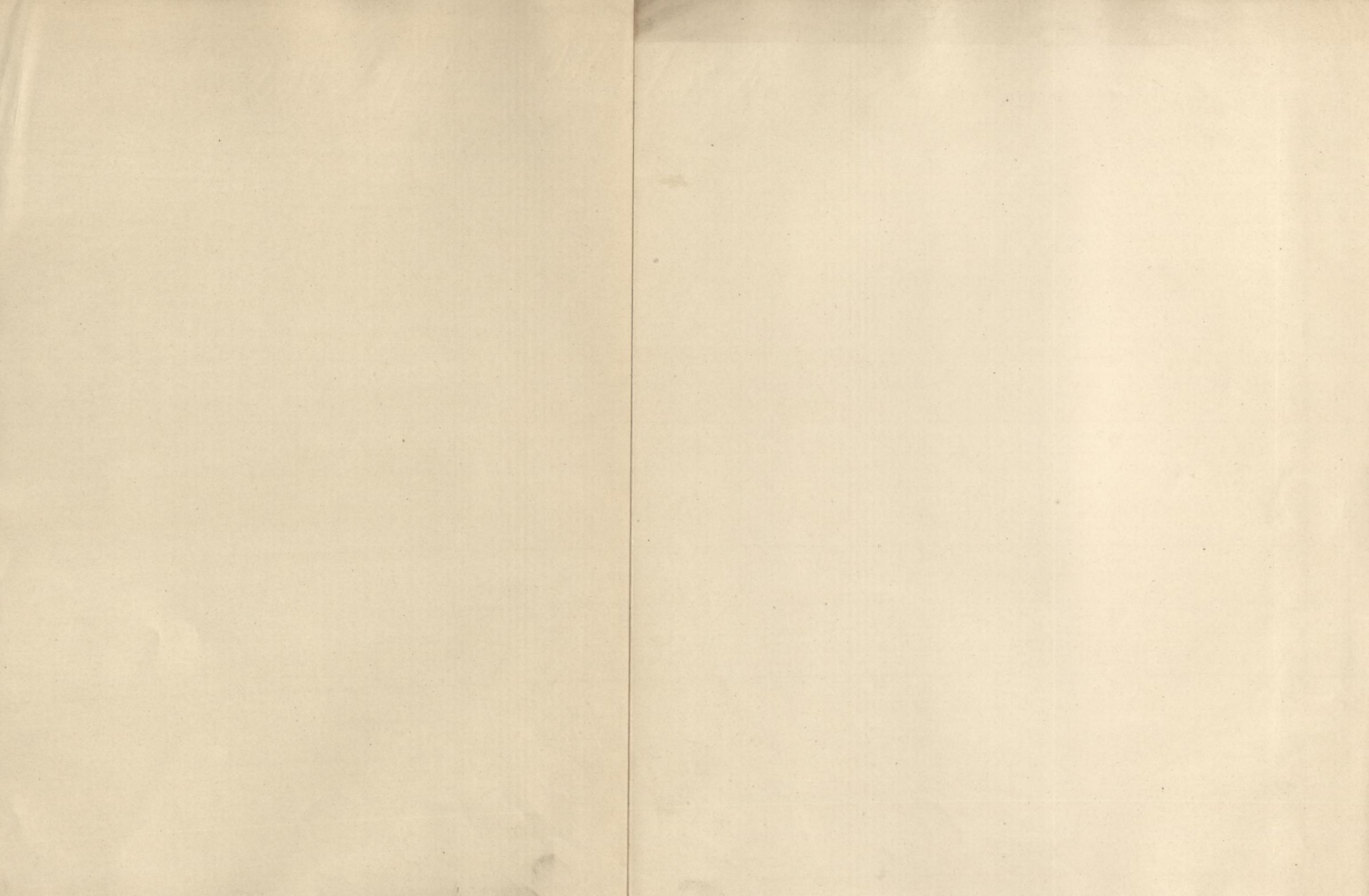


Abb. 2. Lageplan 1892.

1: 2000.





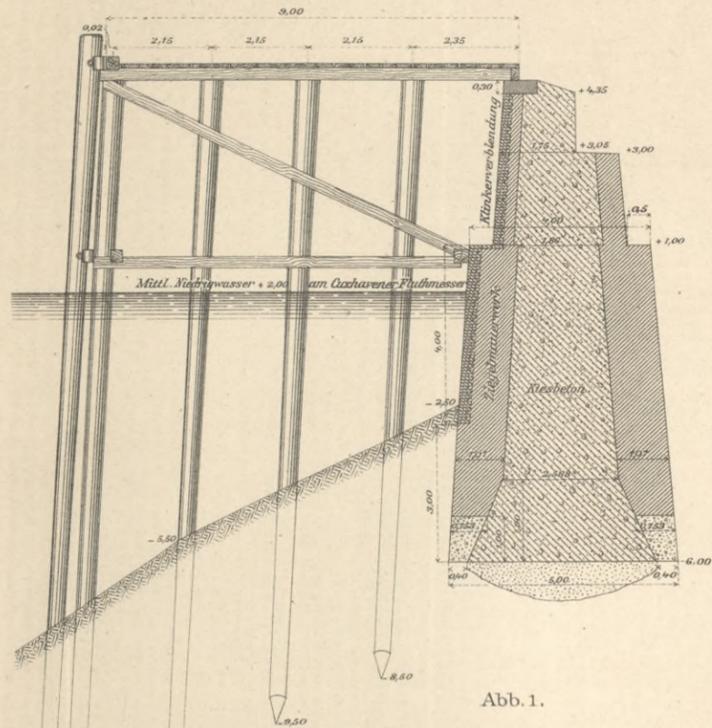


Abb. 1.

Schnitt durch die Brunnenmauer.

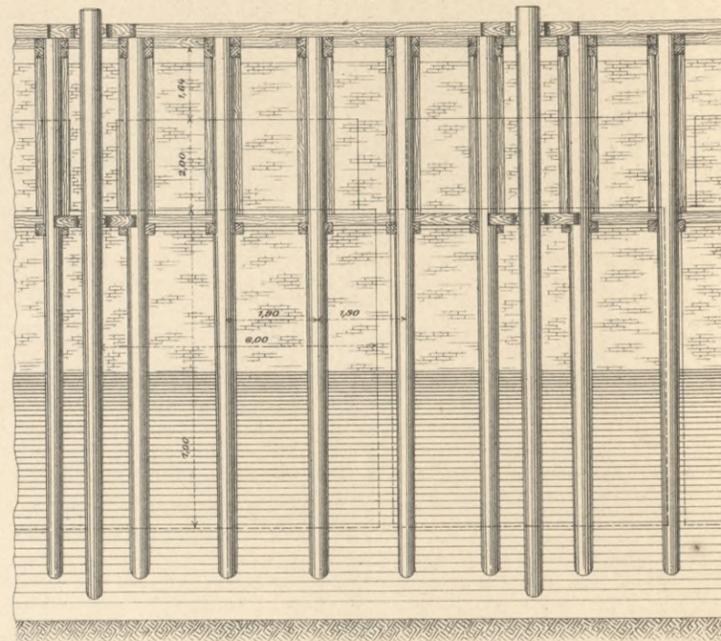


Abb 2. Ansicht der Brücken.

Abb. 1-3. Brunnenmauer mit Brücken. 1:150.

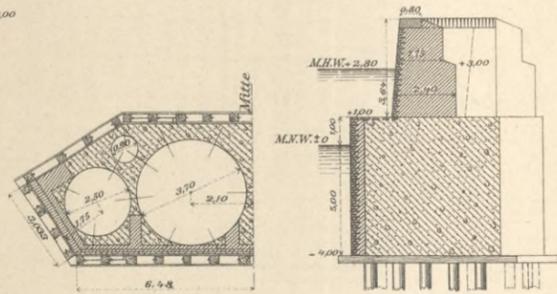
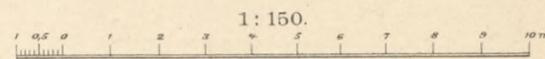


Abb. 4.

Wagerechter Schnitt.

Abb. 5. Schnitt g h.

Abb. 4-6. Kajemauer aussendeichs auf Pfahlrost. Anschlusskasten. 1:250.

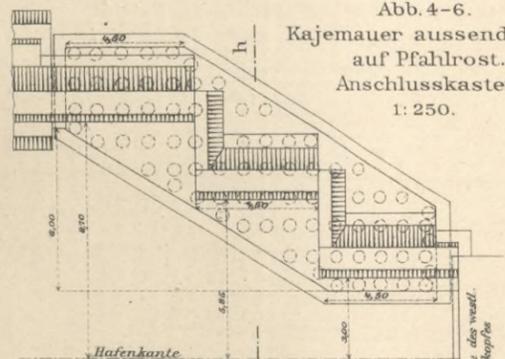


Abb. 6. Oberansicht.

1:250.

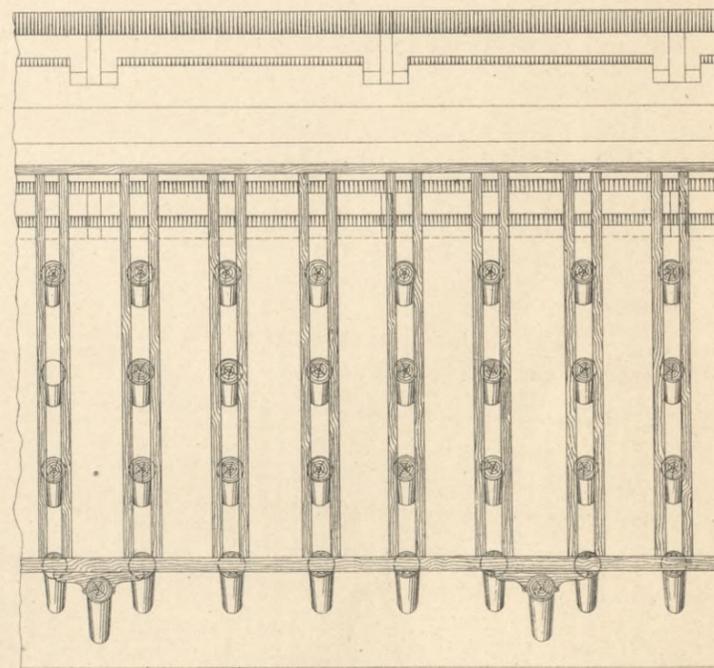
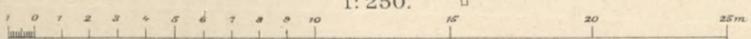


Abb. 3. Oberansicht der Brunnenmauer.

1:150.

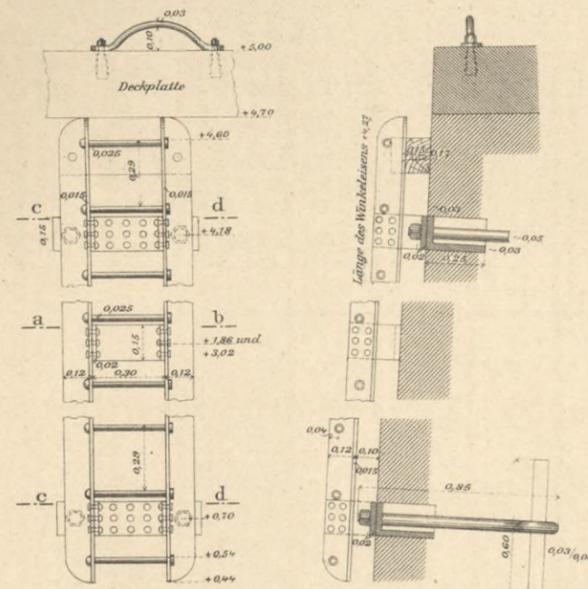
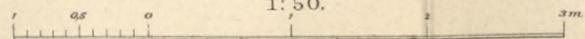


Abb. 9. Vorderansicht.

Abb. 10. Seitenansicht.

Abb. 9-11. Leitern binnendeichs. 1:30.

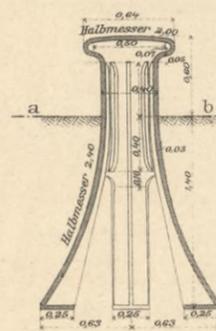


Abb. 12 Schnitt c d.

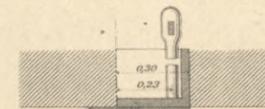


Abb. 11. Schnitt nach a b. nach c d.

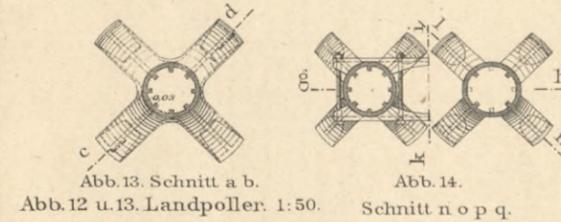
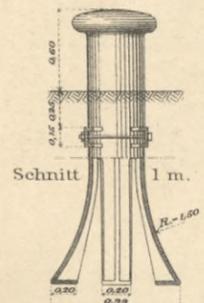


Abb. 13. Schnitt a b.

Abb. 14. Schnitt n o p q.

Abb. 12 u. 13. Landpoller. 1:50.

Abb. 15. Schnitt i k.



Schnitt 1 m.

Abb. 14-16. Poller auf den Hafenköpfen 1:50.

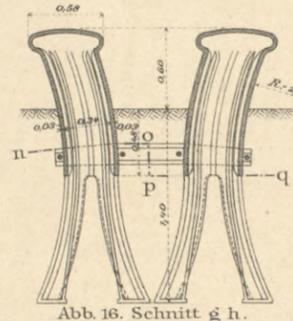


Abb. 16. Schnitt g h.

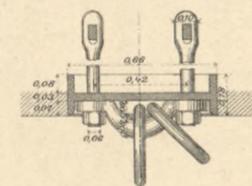


Abb. 17. Grundriss.

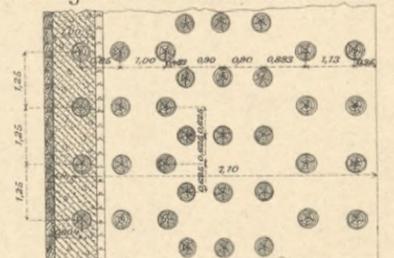


Abb. 8. Grundriss.

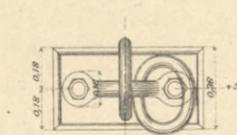


Abb. 18. Ansicht.

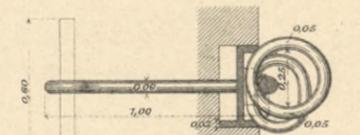


Abb. 19 Schnitt durch die Mitte.

1:30.

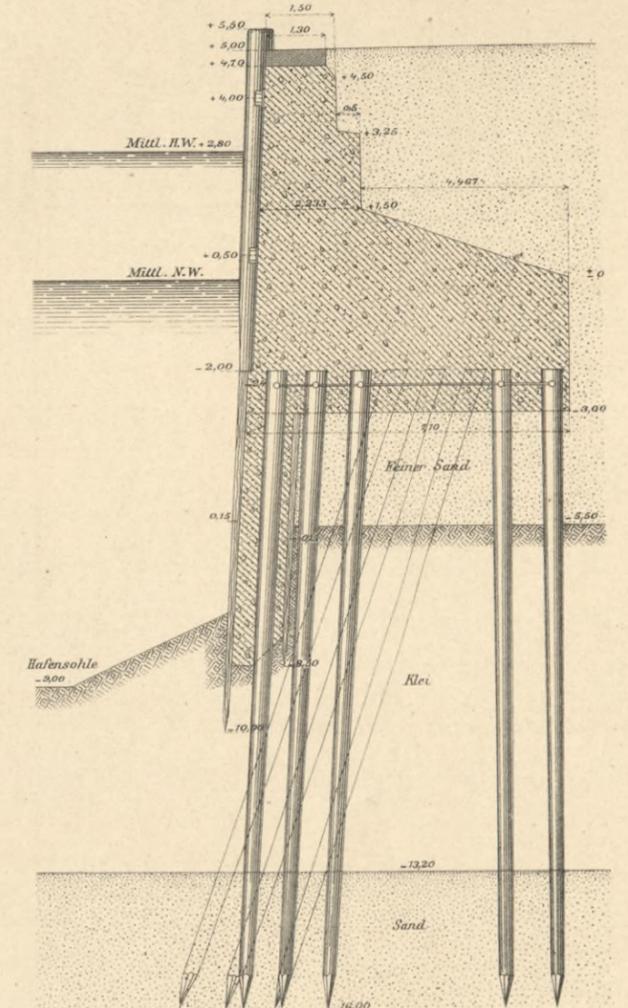
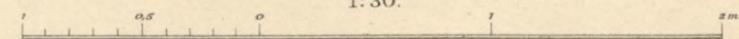


Abb. 7. Querschnitt.

Abb. 7 u. 8. Kajemauer binnendeichs. 1:150.

Abb. 1-8. Westlicher Hafenkopf.

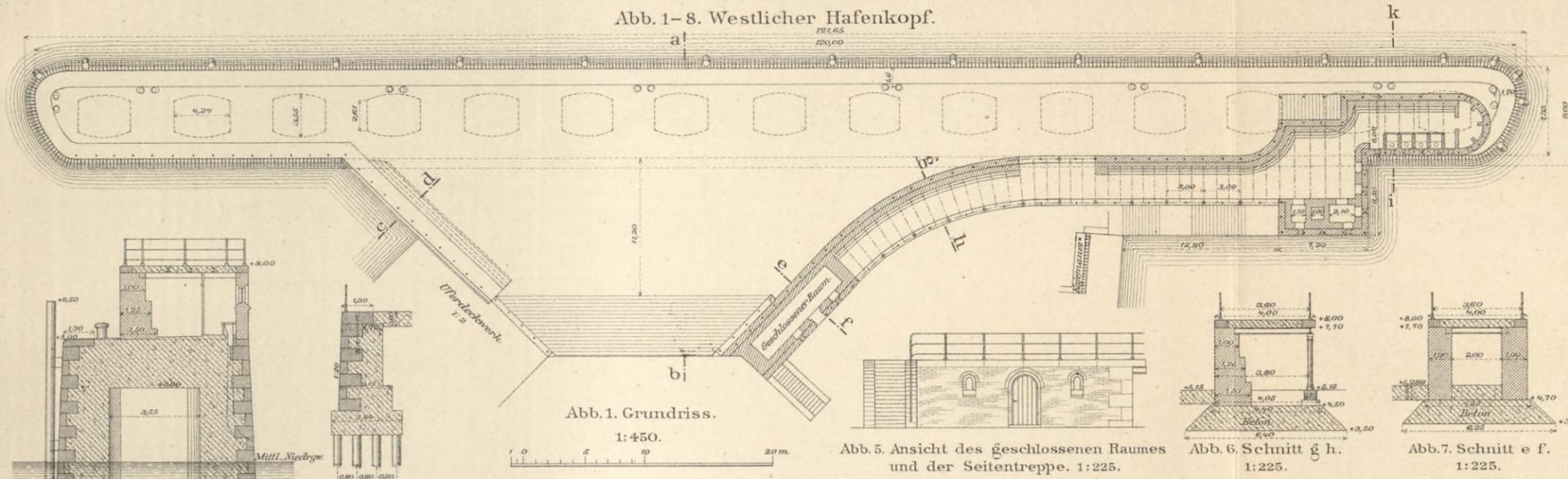


Abb. 12-14. Treppenkasten. 1:250.

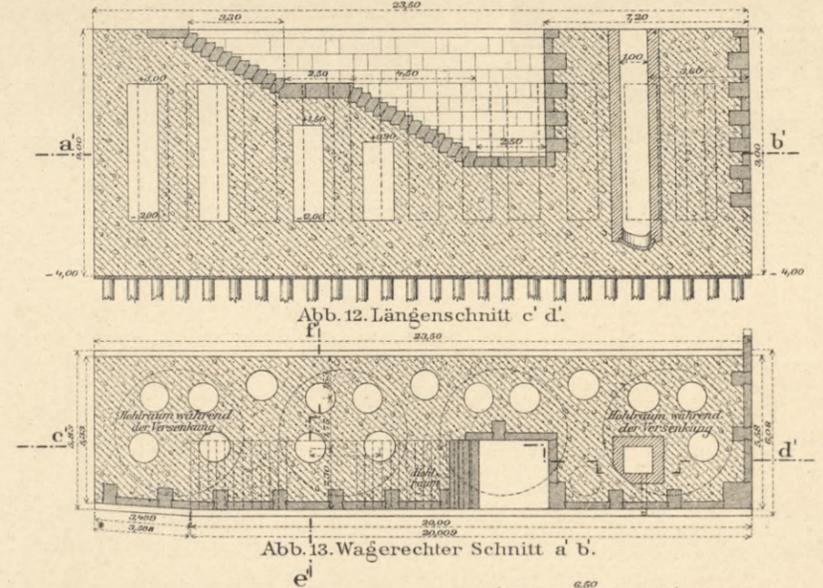


Abb. 9-11. Grosser Senkkasten. 1:225.

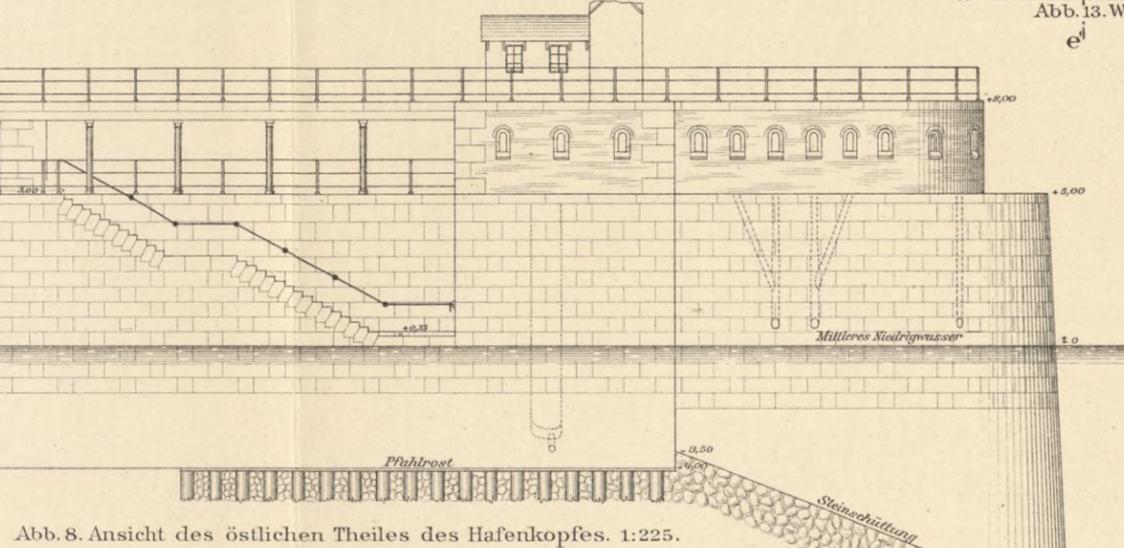
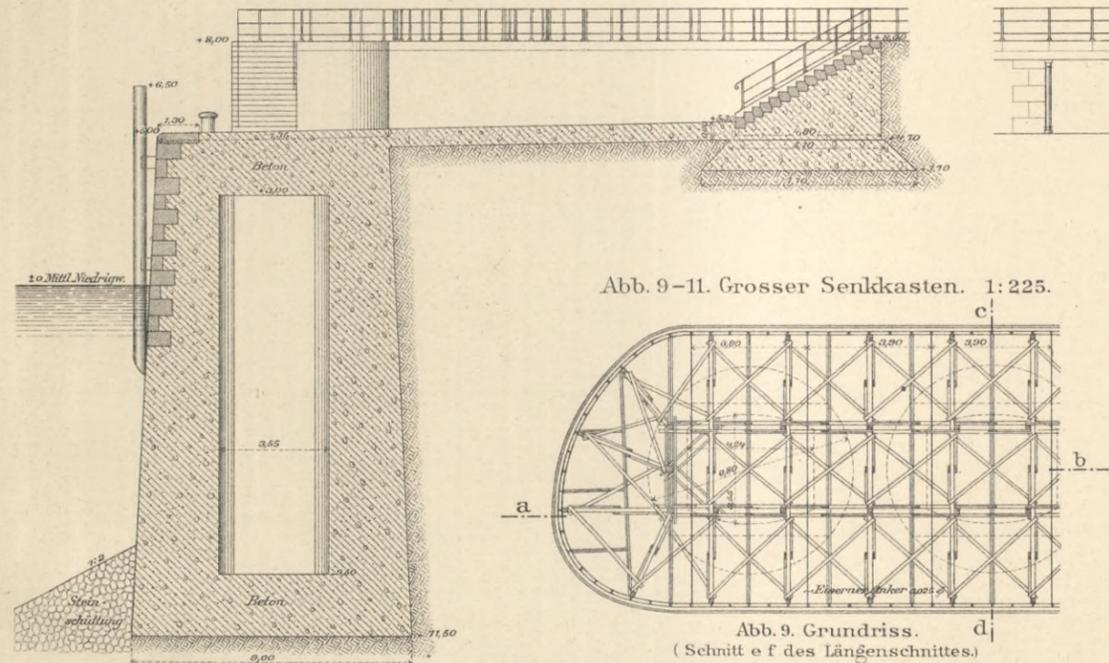
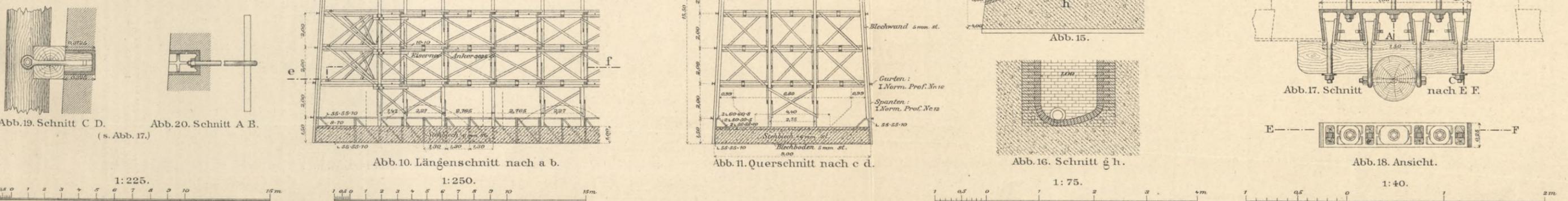


Abb. 17-20. Gusseisenkasten für die Streichpfähle. 1:40.



WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA



L. inw.

33578

Kdn., Czapskich 4 — 678. I. XII. 52. 10.000

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000305834