IX. INTERNATIONALER SCHIFFAHRTS-CONGRESS
DÜSSELDORF — 1902.

II. Abtheilung.

1. Mittheilung.

Künstliche Spülung von Seehäfen.

Mittheilung

von

Hugo Lentz,
Wasserbauinspektor in Cuxhaven.

BERLIN.
P. Stankiewicz' Buchdruckerei.
1902.

Künstliche Spülung von Seehäfen.

Mittheilung

von

Hugo Lentz,

Wasserbauinspektor in Cuxhaven.

Die künstliche Spülung der Seehäfen wird gewöhnlich dadurch bewerkstelligt, dass man grosse Wassermengen bei Hochwasser durch Schleusen zurückhält und bei Niedrigwasser durch den Hafen wieder ablaufen lässt.

Dazu ist ein grosser Unterschied zwischen Hoch- und Niedrigwasser erforderlich, wie er namentlich an der festländischen Küste des Aermelkanals und der Strasse von Dover angetroffen wird. Die Häfen an dieser Küste leiden zugleich sämmtlich durch wandernde Kies- und Sandmassen, die längs des Strandes vor ihnen durch Wind und Wellen fortbewegt werden und bisweilen die Hafenmündungen völlig verstopfen. In früheren Jahren kannte man kein anderes Mittel zu ihrer Beseitigung als die Spülung, und es ist wahrscheinlich, dass man diese Gegend als die Heimath der künstlichen Spülungen betrachten darf. Von Ostende wird schon aus dem Anfange des sechzehnten Jahrhunderts von einer künstlichen Spülung berichtet und noch im Jahre 1846 sagte Minard: „Les chasses méritent toute notre attention; c'est le moyen le plus efficace et le plus économique."

Die Erfolge der Spülungen waren indess nach heutigen Begriffen nirgends bedeutend. Die Beseitigung von Sand erforderte mittlere Wassergeschwindigkeiten von 1,8 m in der Sekunde und da selbst grosse Wassermassen solche Geschwindigkeiten nur in Profilen von beschränkter Grösse hervorzubringen vermochten, so blieb die gewonnene Tiefe gering und überstieg selten zwei Meter. Auf der Barre vor den Häfen musste man sich mit der Hälfte und selbst mit noch weniger begnügen. Dort, wo man nur mit Schlick zu kämpfen hatte, konnte man dasselbe zwar mit geringeren Wassermengen erreichen, aber auch zum Fortreissen des Schlickes musste eine mittlere Geschwindigkeit des Wassers von 0,7 m in einer Sekunde erzeugt werden.

Die Lieferung des zur Spülung erforderlichen Wassers besorgten entweder vorhandene Docks oder man richtete zu dem Zwecke besondere Becken ein, die bis zu 60 Hektaren Fläche umfassten. Der

Wasserspiegel der Docks konnte durch Kanäle, die mit Schützen versehen waren, bis zu einem für zulässig gehaltenen Maasse gesenkt werden, und vor den künstlichen Becken waren Spülschleusen erbaut, deren Thore bis Niedrigwasser hinabreichten oder wenig darüber blieben und plötzlich geöffnet werden konnten. Aus den geöffneten Schleusen stürzte das Wasser mit ungeheurer Gewalt, höhlte unter wirbelnden und unregelmässigen Bewegungen vor dem Sturzbett einen Kolk aus und floss dann, je nach seiner Menge, als Bach oder Strom durch den Hafen ab, um ihn zu vertiefen. Auf der Barre, wenn eine solche vorhanden war, breitete sich das Wasser mehr und mehr aus, wodurch seine Kraft bald völlig erschöpft wurde.

Ein einziges Mal ist der Versuch gemacht worden, die künstliche Spülung für eine grössere Wassertiefe nutzbringend zu verwerthen, allein dieser Versuch misslang. Der englische Ingenieur Rendel entwarf im Jahre 1844 einen Plan für Birkenhead, nach dem ein Tidehafen von 3,74 m Tiefe bei Niedrigwasser-Springtide durch Spülung offengehalten werden sollte. Die Spülöffnungen wollte er über die ganze Breite des Hafens ausdehnen und, bei geringer Höhe, mit der Sohle nur wenig höher als die Tidehafensohle legen. Damit glaubte er eine Wasserschicht von gleichmässiger Dicke zur Verfügung zu haben, die, ohne Kolkbildung und ohne merkbare Beunruhigungen der Oberfläche, eine regelmässige Strömung auf dem Grunde erzeugen und seine Säuberung von niedergefallenem Schlick bewirken könnte. Diese Hoffnungen erfüllten sich aber nicht. Als zwanzig Jahre später die nach seiner Idee ausgeführte Spülung in Wirksamkeit trat, erschienen die Kolkbildung und die unregelmässigen Strömungen ebenso wie bei allen sonstigen Spülungen, und als bei einer Gelegenheit die Geschwindigkeit des Wassers an der Oberfläche des Hafens zu 1,7 m in der Sekunde gemessen wurde, betrug sie auf derselben Stelle 0,23 m über dem Grunde nur 0,26 m in der Sekunde. Dieser auffallend grosse Unterschied erklärt nicht nur den geringen Erfolg der Rendel'schen Spülung, sondern auch den der künstlichen Spülungen überhaupt, und es ist sehr zu bedauern, dass seine Richtigkeit nicht durch wiederholte Messungen bestätigt worden ist. Er widerspricht aber sonstigen Erfahrungen keineswegs und ist deshalb wenig geeignet, irgendwelche günstige Aussichten auf eine Verstärkung der Spülwirkungen zu eröffnen.

Durch die in diesem kurzen Ueberblick angeführten Thatsachen wird es begreiflich, dass die von Alters her bestehenden Spülungen nach und nach verschwinden und durch andere Hülfsmittel ersetzt werden. Früher begnügte man sich damit, wenn ein Fahrzeug von mässigem Tiefgange bei halber Tide oder bei Hochwasser den Hafen erreichen konnte; jetzt dagegen fordert man von einem Hafen für den grossen Verkehr, dass er selbst bei Niedrigwasser zugänglich

bleibt, und die Anstrengungen aller Nationen sind darauf gerichtet, dieses Ziel zu erreichen. Dabei kann die künstliche Spülung nicht helfen, sondern nur die Baggerei oder der Bau neuer Häfen, die von vorne herein für die Befriedigung der gesteigerten Bedürfnisse eingerichtet werden. Demgemäss findet man in Havre schon im Jahre 1854 einen Dampfbagger in Thätigkeit und im Jahre 1865 hatte die Spülung dort thatsächlich jegliche Bedeutung eingebüsst. In demselben Jahre wurde die Spülung in Cuxhaven beseitigt und durch Baggerung ersetzt. In Dünkirchen geschah dasselbe in den achtziger Jahren des vorigen Jahrhunderts. In Boulogne begann man etwa gleichzeitig mit dem Bau eines grossen Hafens von 8 m Tiefe bei Niedrigwasser; dieser Hafen wird den alten umschliessen und seine Spülung zwecklos machen. In Ostende wird, wie in Dünkirchen, seit zwanzig Jahren gebaggert und auch dort wird man zu der Ueberzeugung gelangt sein, dass die Spülung neben der Baggerei keine Berechtigung mehr hat.

Diese Beispiele, denen sich ohne Zweifel noch andere anreihen liessen, besagen indess keineswegs, dass den künstlichen Spülungen heutigen Tages jeglicher Werth abgesprochen werden soll. Bei bescheidenen Ansprüchen und für örtliche Zwecke können sie unersetzlich sein und werden dauernd ihren Werth behalten.

Einige einzelne Fälle, die dafür Beweise liefern, erlaube ich mir anzuführen:

In Freiburg, einem kleinen Städtchen in der Nähe der Elbe, 46 km oberhalb Cuxhaven, liegt die Entwässerungsschleuse für die hinterliegende Marsch im Deich, 2400 m vom Elbufer entfernt. Ein Graben von 12 bis 20 m Breite führt von der Schleuse dahin und sowohl im Interesse einer guten Abwässerung, wie in dem der Schifffahrt, ist für den Graben eine möglichst grosse Tiefe erwünscht. Um diese herzustellen, wurde im Jahre 1851 vor dem Deiche ein Spülbecken von 340 m Länge, 40 m Breite und 1 bis 1,5 m Tiefe ausgegraben und mit einer Spülschleuse von 9 qm Querschnitt versehen, für die etwa 15 000 cbm Wasser bei Niedrigwasser zur Verfügung stehen. Mit dieser geringen Wassermenge wird das Fahrwasser des Grabens fast auf der Höhe des Niedrigwassers gehalten, so dass bei der Fluthgrösse von 3 m den dort verkehrenden Fahrzeugen von 1,5 m Tiefgang oder etwas darüber der Zugang zur Stadt selbst bei halber Tide offensteht. Gerade jetzt wird die Spülschleuse erneuert und je nach fünf bis sieben Jahren muss das Becken mit M. 4000 bis M. 5000 Kosten wieder um mehr als einen halben Meter vertieft werden, denn die Gegend von Freiburg gehört zur schlickreichsten der ganzen Elbe. Der Neubau der Schleuse und die häufige Aufwendung der Reinigungskosten liefern den besten Beweis für den Nutzen der Anlage.

Oertliche Spülungen sind für die Thorkammern vor den Docks sehr gewöhnlich. Gewölbte Kanäle führen aus dem Dock durch die Seitenmauern in die Mauern der Thorkammer, um Sand oder Schlick, der sich vor den Thoren etwa angesammelt hat, unmittelbar wegspülen zu können.

Vortreffliche Einrichtungen der Art sind von dem Ingenieur G. F. Lyster in Liverpool getroffen worden. Die Schwellen der Docks in Liverpool liegen meistens ungefähr 0,84 m über Niedrigwasser-Springtide, wodurch bei Hochwasser-Springtide eine Tiefe von 7,62 m auf den Schwellen vorhanden ist. Bei Hochwasser-Taubetide sinkt aber dieses Maass auf 5,34 m, was für viele Schiffe zu wenig ist. Um solche Schiffe nicht zu zwingen, auf dem Strom zu lössen oder nach Birkenhead zu gehen, hat man die Schwelle des Langton-Dock auf 0,99 m unter Niedrigwasser-Springtide gelegt, wodurch unter gewöhnlichen Umständen eine Minimaltiefe von 7,17 m gesichert wurde. Diese niedrige Lage der Schwellen machte aber ein umfangreiches System von Spüleinrichtungen nothwendig, weil sonst der Eingang zum Dock in kurzer Zeit durch Ablagerungen aus dem Flusse verstopft worden wäre. Man sparte deshalb Kanäle von 3,66 m Höhe und Breite in den Seitenmauern des Langton-Docks aus, und einen andern Kanal von 4,57 m Höhe und 3,96 m Breite führte man der Länge nach durch die Mauer zwischen den beiden Schleusenkammern des Docks. Diese Kanäle liegen mit der Sohle auf 0,69 m unter Niedrigwasser-Springtide und leiten das Dockwasser nach ungefähr 70 kleinen Kanälen von 1,22 m zu 1,83 m Grösse, durch die es sich in das Canada-Basin, den Vorhafen, und in die nördliche Hälfte der Einfahrt ergiesst. Um aber auch die von den Schleusen entfernteren Theile des Vorhafens, die mit einer starken Betonschicht bedeckt sind, und die Einfahrt von Ablagerungen reinhalten zu können, sind vier eiserne Röhren von 2,44 m Durchmesser unter den Betonboden gelegt, die von den erwähnten Kanälen gespeist werden und, ohne die Endöffnungen, zusammen vierzehn Oeffnungen von je 0,9 m Durchmesser in der Oberfläche des Betons haben, durch die sie die Ablagerungen von unten zu lösen imstande sind.

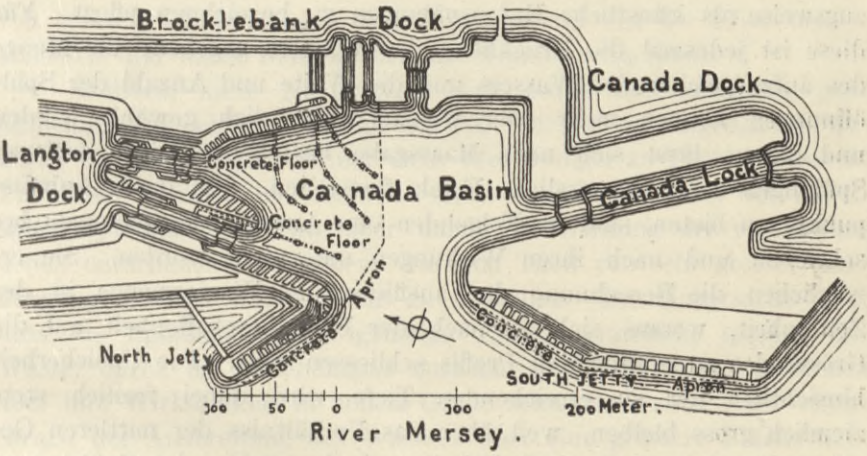
Nachstehende Zeichnung lässt die Lage der verschiedenen Leitungen erkennen und zeigt auch, dass auf der Südseite der Einfahrt am South Jetty ähnliche Spülkanäle vorhanden sind.

Beim Niedrigwasser der Springtiden werden die Vorrichtungen in Thätigkeit gesetzt und wenn alle Schleusen auf der Nordseite zugleich geöffnet werden, liefern sie ungefähr 825 cbm Wasser in der Sekunde, und die Geschwindigkeit des aus der Einfahrt fliessenden Stromes erreicht etwa 4,5 m in der Sekunde.

Diese sinnreich erdachten und sorgfältig ausgeführten Spülungen erfüllen ihren Zweck vollständig und nach mehrjährigem Gebrauch

ergaben Untersuchungen durch Taucher, dass der Boden vollständig rein war und dass alle Theile sich in unbeschädigtem Zustande befanden.*)

Ein zweites wichtiges System von Spülschleusen, ebenfalls von Herrn Lyster construirt, befindet sich in der Ufermauer, vor der die grosse Landungsbrücke liegt. Diese schwimmende Brücke ist 629 m lang, 24,4 m bis 33,5 m breit und wird durch 158 eiserne Pontons von 24,4 m Länge und 3,1 m Breite getragen. Sieben, senkrecht zur Ufermauer liegende und auf ihren Enden drehbar befestigte Brücken halten sie in einem Abstande von reichlich 30 m von der Ufermauer und langgestreckte, kreuzweis angebrachte Ketten sichern sie gegen Bewegungen stromauf- oder stromabwärts. Die Kosten der ganzen Anlage beliefen sich auf 9,4 Millionen Mark. Nun hatte sich



unter den südlichen Theil der Brücke eine Sandbank geschoben und die Gefahr lag nahe, dass die Schwimmkasten darauf stranden könnten, wodurch die Brücke unfehlbar beschädigt worden wäre. Um dies zu verhindern, legte man in die Ufermauer einen Kanal von 2,44 m Durchmesser, der aus dem nahegelegenen George Dock mit Wasser versorgt werden konnte. Aus diesem Kanal zweigten in Zwischenräumen von 6,1 m zweiundzwanzig kleinere, von je 1,15 qm Querschnitt ab, die mit der Sohle 0,38 m unter Niedrigwasser-Springtide lagen und, vor die Mauer tretend, sich der Langseite der Brücke bis auf 14,3 m näherten. Die ganze Einrichtung kostete M. 400 000, bewährte sich aber vorzüglich. Anfänglich war zwar der unbeschränkte Gebrauch der Spülung unzulässig, weil man befürchten musste, die auf dem Grunde sitzenden Schwimmkasten ihrer Unter-

*) Harbours and Docks by Vernon-Harcourt, Oxford 1885 und Notes on Docks and Dock-Construction by C. Colson. London 1894.

stützung theilweise zu berauben und dadurch zu zerbrechen; zunächst konnte man nur das Ende der Brücke freispülen und von diesem aus unterstützte man die Spülung durch Kratzer, die durch Dampfkraft längs des Grundes gezogen wurden und ihn auflockerten. Auf diese Weise gelangte man durch abwechselndes Kratzen und Spülen allmählig dahin, die Brücke auch bei niedrigen Wasserständen schwimmend zu erhalten.

Derartige Anwendungen künstlicher Spülung, wenn auch selten in so grossartigem Maassstabe, sind zahlreich, und sie haben sämmtlich das miteinander gemein, dass sich feste Regeln dafür nicht aufstellen lassen. Es bleibt in jedem einzelnen Falle dem Ermessen des leitenden Ingenieurs überlassen, die Wirksamkeit der zur Verfügung stehenden Mittel der Sachlage gemäss zu beurtheilen und zu benutzen.

Anders liegt die Sache für diejenigen Anlagen, die man vorzugsweise als künstliche Hafenspülungen zu bezeichnen pflegt. Für diese ist jedesmal die Druckhöhe des Wassers gegeben; die Menge des aufzuspeichernden Wassers und die Weite und Anzahl der Spüllöffnungen können mehr oder weniger willkürlich gewählt werden und daraus lässt sich nach Maassgabe bestehender oder früherer Spülungen der muthmassliche Erfolg feststellen. Um dafür Anhaltspunkte zu bieten, sind im Folgenden eine Anzahl von Spülungen beschrieben und nach ihren Wirkungen untersucht worden. Sie ermöglichen die Berechnung der ausfliessenden Wassermenge in der Zeiteinheit, woraus sich je nach der Bodenbeschaffenheit auf die Grösse des zu eröffnenden Profils schliessen lässt. Die Unsicherheit hinsichtlich der zu erreichenden Tiefe wird dabei freilich stets ziemlich gross bleiben, weil über das Verhältniss der mittleren Geschwindigkeit zur Geschwindigkeit auf der Sohle des Spülstromes nur wenig Beobachtungen bekannt geworden sind. Jedenfalls ist aber dieses Verhältniss sehr viel ungünstiger als es in natürlichen Flüssen gefunden wird, und es scheint nicht, dass man Aussicht hat, grössere Tiefen als 2 bis höchstens 2,5 m durch künstliche Spülung schaffen zu können.

Eine Ausnahme bildet die zum Schlusse beschriebene Spülung von Nieuwediep, durch die, bei einer Fluthgrösse von nur 1,16 m, ein wasserhaltender Querschnitt von 1400 qm mit Tiefen von 10 m und darüber geschaffen worden ist. Sie kann aber, strenge genommen, nicht zu den künstichen Spülungen gerechnet werden, denn durch die glückliche Lage der Verhältnisse wurde es dem Scharfsinn ihrer Schöpfer möglich, die von der Natur gegebenen Wassermassen ohne Vermittlung von Zwischengliedern zu Spülung verwenden zu können. Sie bildet mithin den Uebergang zu jener grossen Zahl von Spülungen, bei denen abfliessende Wassermassen durch Verkleinerung des Durchflussprofils zur Vertiefung des Grundes gezwungen werden. Zugleich

ässt sie den ungeheuren Vorzug stetig wirkender Wassermassen gegenüber zeitweiligen Spülströmen deutlich erkennen.

Dünkirchen.

Die Häfen auf der östlichen Seite des Aermelkanals und der Strasse von Dover von Fécamp bis Ostende liegen sämmtlich am flachen Strande der See.

Die Kies- und Sandmassen, die sich dort in der Richtung des herrschenden Windes und der Fluthströmung von Süden nach Norden bewegen, haben das Bestreben, jede etwa in diesem Strande befindliche Lücke auszufüllen und zu ebenen.

Die Häfen sind entstanden durch die Entwässerung angrenzender, unter Hochwasser liegender Niederungen. Diese wurden bei dem beträchtlichen etwa fünf Meter betragenden Fluthwechsel täglich von grossen Wassermengen überschwemmt, die mit der Ebbe wieder abflossen und dabei tiefe Rinnen im Strande aushöhlten.

Nachdem diese Niederungen sich durch die natürliche Aufschlickung hinreichend erhöht hatten, wurden sie eingedeicht, wodurch die ausgespülten Rinnen mehr oder weniger an Tiefe einbüssten. Um diesen Verlust zu ersetzen, ersann man das Mittel der künstlichen Spülung, vermochte aber damit die Wirkung der verschwundenen natürlichen Spülbecken, die zum Theil von sehr grosser Ausdehnung gewesen waren, nicht zu erreichen. Die Hauptsache war, dass die Spülungen zwar günstige Erfolge erzielten, solange das Wasser durch die Hafendämme zusammengehalten wurde, dass sich aber ihre Wirksamkeit in hohem Grade schwächte, sobald der offene Strand der Ausbreitung des Wassers über eine grössere Fläche kein Hinderniss mehr entgegenstellte. Zur Abhülfe dieses Uebelstandes verlängerte man die Hafendämme; da indess alsdann der Strand ihnen bald nachrückte, so erreichte man dadurch nur vorübergehende Erfolge und man musste mit den Verlängerungen einhalten, nachdem die engen Hafenkanäle stellenweise die übermässige Länge von 2 km erreicht hatten.

Die künstlichen Spülungen waren vielleicht nirgends so vortheilhaft wie in den Häfen am Kanal, nicht nur weil sie überhaupt wirkten, sondern auch weil sie schnell wirkten. Minard*) erzählt, dass bei Dieppe jährlich 24 000 cbm Kiesel vorbeiwandern und dass in einer einzigen Tide bis zu 10 000 cbm ankommen sollen. Dagegen werden, ebenfalls nach Minard's Angabe, durch eine einzige Spülung bis zu 1500 cbm ausgestossen und in Calais haben nach längerer Unterbrechung die ersten 12 Spülungen 100 000 cbm Sand fortgeschafft.

---

*) Cours de construction des ouvrages hydrauliques des ports de mer. Paris 1846.

Dünkirchen ist einer der Häfen am Kanale und da über ihn interessante Thatsachen veröffentlicht und werthvolle Beobachtungen mitgetheilt sind, soll er zunächst einer näheren Besprechung unterzogen werden.

Die Fluthgrösse in Dünkirchen ist in den Springtiden 5,45 m und bei Taubentiden 3,20 m. Das Niedrigwasser der Taubentiden ist ungefähr einen Meter höher als das der Springtiden und man beschränkt deshalb die Spülung auf 5 oder 6 Tage während der Springtiden, weil bei tauben Tiden sowohl die Druckhöhe des Wassers geringer, sowie die Wassertiefe grösser ist und die Spülungen folglich unwirksam sein würden.

Minard beschreibt a. a. O. einige Versuche aus dem Jahre 1835, wobei bemerkt werden muss, dass die Hafendämme damals kürzer waren als später, wie aus Abb. 1 ersehen werden kann.

Am 10. August 1835 stand das Wasser im Bassin Becquet (dem Spülbecken) 4,5 m über der Schleusenschwelle. Fünfzehn Minuten vor Niedrigwasser öffnete man die Schleuse de la Lunette und die Schleusen des Arrière-Port (1200 m oberhalb der vorigen gelegen), 9 Minuten vor Niedrigwasser die Schleusen des Bassin Becquet. Innerhalb 10 Minuten war aus diesem eine etwa 0,45 m starke Wasserschicht abgeflossen und nach einer Stunde eine Schicht von 2,1 m Dicke. In den ersten 10 Minuten 139 500 cbm oder in einer Sekunde 232,5 cbm. Fügt man für die beiden andern Schleusen 62 cbm hinzu, so ergiebt sich ein Gesammtabfluss von 294,5 cbm in einer Sekunde.

Während der Spülung an diesem und den beiden folgenden Tagen wurde die Geschwindigkeit des abfliessenden Wassers auf der Oberfläche der letzten 300 m des Kanals und auf der Barre, 300 m ausserhalb des östlichen Hafenkopfes, jede 5 Minuten gemessen. Es ergab sich, dass die grössten Geschwindigkeiten gleichzeitig im Kanal und auf der Barre stattfanden, und zwar jedesmal im Augenblicke des Niedrigwassers, 15 bis 20 Minuten nach Beginn der Spülung. Der höchste Wasserstand im Kanal fand sich dagegen $1^1/_2$ bis 3 Minuten nach demselben Zeitpunkte. Die grössten Geschwindigkeiten betrugen:

1835	Geschwindigkeit in 1 Sekunde		Wasserstd. über N. W. Springtide	
	auf der Barre	im Kanal	Niedrigster im Kanal	Höchster im Bassin
Aug. 10	1,25 m	3,70 m	0,32 m	5,00 m
„ 11	1,40 m	3,26 m	0,55 m	4,95 m
„ 12	1,70 m	2,25 m	0,50 m	4,95 m
Mittel	1,45 m	3,07 m	0,46 m	4,97 m

Da die Druckhöhen an den drei Tagen nicht allzu verschieden waren, so wird man auf das Mittel der gemessenen Geschwindigkeiten Werth legen dürfen und dieses ergiebt, dass das sandige Bett des Hafenkanals einer Geschwindigkeit des Wassers an der Oberfläche von 3,07 m in der Sekunde ausgehalten hat; freilich nur während kurzer Zeit, denn die Geschwindigkeit betrug 5 Minuten vor der grössten durchschnittlich 2,13 m und 5 Minuten nach der grössten durchschnittlich nur 2 m in 1 Sekunde.

Die grösste Geschwindigkeit auf der Barre betrug 1,45 m, nicht ganz die Hälfte von derjenigen im Kanal, und da die grösste Tiefe im Kanal bei Niedrigwasser-Springtide an keiner Stelle unter 2,6 m und auf der Barre nur 0,8 m betrug, so musste das Wasser auf der Barre sich schon ausserordentlich vertheilt und dadurch seine Kraft zersplittert haben.

Der folgende Versuch dient zur Vervollständigung des eben beschriebenen.

Am 6. September 1835 wurde nach zwölftägiger Unterbrechung eine Spülung bei einem anfänglichen Wasserstande im Bassin Becquet von 4,85 m über Niedrigwasser-Springtide vorgenommen. Ein ausserhalb der Hafendämme belegenes Profil, dessen Stelle auf Abb. 1 angegeben ist, wurde an diesem Tage zehnmal gemessen. Das erste Mal kurz vor Beginn der Spülung und die neun anderen Male in ungefähr gleichmässigen Abständen während der ersten 70 Minuten der Spülung. Minard theilt nur die erste, dritte und zehnte Messung mit, weil die acht letzten sich nach seiner Angabe einander fast vollkommen glichen:

Entfernung	1. vor der Spülung	3. ca. 15 Minuten nach Beginn der Spülung	10. Messung ca. 70 Minuten nach Beginn der Spülung
0 m	0,00 m	0,00 m	0,00 m
10 „	0,54 „	1,62 „	1,60 „
20 „	1,45 „	2,78 „	2,78 „
30 „	2,95 „	3,68 „	3,76 „
40 „	3,30 „	2,88 „	2,90 „
50 „	2,80 „	2,03 „	2,15 „
60 „	2,10 „	1,48 „	1,70 „
70 „	1,40 „	0,58 „	0,80 „
80 „	0,80 „	0,48 „	0,50 „
90 „	0,50 „	0,20 „	0,20 „
100 „	0,00 „	0,00 „	0,00 „
Mittlere Tiefe	1,58 m	1,57 m	1,64 m

Wie man sieht, ist die beträchtliche Formänderung des Profils bei der dritten Messung schon zum Stillstande gekommen und nur die

Tiefen nehmen bis zur 10. Messung im allgemeinen noch etwas zu. Der dadurch erreichte Querschnitt von 164 qm muss also als das Ergebniss der Spülung bezeichnet werden und da der Wasserstand beim Beginn der Spülung nur 0,15 m niedriger war als am 10. August, so darf man wohl annehmen, dass auch die Ausflussmenge eine ähnliche war. Dann ergiebt sich die mittlere Geschwindigkeit in dem gemessenen Profil zu $\frac{294,5}{164} = 1,80$ m in der Sekunde. Diese grosse mittlere Geschwindigkeit ist also zur Fortbewegung des ziemlich feinen Sandes, wie er sich in Dünkirchen findet, erforderlich.

Aus den vorhandenen Angaben lässt sich auch der Ausflusscoefficient für das Spülbecken ermitteln. Am 10. August flossen aus dem Bassin Becquet während der ersten zehn Minuten nach Oeffnung der Thore durchschnittlich 232,5 cbm in einer Sekunde, wonach man die grösste Ausflussmenge auf 250 cbm in der Sekunde schätzen kann. Die nutzbare Druckhöhe betrug im Mittel 4,25 m, die Lichtweite der fünf Schleusen 18,6 m und der Querschnitt der Ausflussöffnungen demnach 79 qm. Die grösste Ausflussgeschwindigkeit findet sich daraus zu $\frac{250}{79} = 3,16$ m, die theoretische dagegen zu $0,67 \sqrt{19,62 + 4,25} = 6,12$ m in der Sekunde. Der Ausflusscoefficient ist demnach $\frac{3,16}{6,12} = 0,52$. Seine geringe Grösse erklärt sich durch die Form des Spülbeckens und des Abflusskanales in der Nähe der Schleuse. Wie aus Abb. 1 zu ersehen, verengt sich das Becken bis zur Schleuse bedeutend und auch der enge Abflusskanal nimmt nur sehr allmählig an Breite zu. Man scheint bei dieser wie bei mancher andern Spülanlage darauf bedacht gewesen zu sein, jeden plötzlichen Uebergang in den Profilgrössen zu vermeiden, während das in der Spülschleuse concentrirte Gefälle plötzliche Uebergänge geradezu fordert.

Nach dem Jahre 1835 sind die Hafendämme um 280 m verlängert worden, was zwar ein Vorrücken des Strandes um dasselbe Maass zur Folge hatte, aber sonst keine wesentliche Aenderung der Verhältnisse hervorbrachte. Im Jahre 1861 wurde durch verschiedene Bauten die in dreiviertel Stunden abfliessende Spülwassermenge von 950 000 cbm auf 1 850 000 cbm gesteigert, jedoch ohne damit einen erheblichen Gewinn für die nutzbaren Tiefen zu erzielen.

Im Jahre 1877 wurde Herr Eyriaud de Vergnes mit der Direktion der Seehäfen (du service maritime) des Département du Nord beauftragt und die Annales des ponts et chaussées des Jahres 1889 enthalten von ihm eine sehr lehrreiche „Étude sur l'établissement et l'entretien des ports en plage de sable", der die folgenden Mittheilungen entlehnt sind.

Nach seinen Angaben lag die Barre während der Jahre 1844 bis 1877 niemals niedriger als 0,5 m unter dem Nullpunkt der Marinekarten, was ungefähr der Höhe von 1 m unter Niedrigwasser gewöhnlicher Springtide entsprechen wird. Die Kurven von — 0,5 m im Kanal und ausserhalb der Barre waren meistens 200 bis 400 m von einander entfernt und oft lag die Einfahrt über Null. Die Kurve von — 2 m entfernte sich mehr und mehr vom Ende des Hafenkanals und ihr Abstand, der 380 m im Jahre 1844 betrug, wuchs allmählig und schwankte im Jahre 1870 zwischen 600 und 700 m. Um den gesteigerten Ansprüchen der Schiffahrt zu genügen, beschloss man schon damals zur Baggerung zu greifen, machte aber erst in den Jahren 1876 und 1877 einen schwachen Anfang damit, so dass man den Zustand des Jahres 1877 — der in Abb. 1 ausserhalb der Hafenköpfe eingetragen ist — als den normalen Zustand während der Spülungen bezeichnen kann.

Bei der Baggerei hatte man anfänglich mit grossen Schwierigkeiten zu kämpfen. Der Staat besass keine Bagger und den Unternehmern musste man hohe Preise bezahlen, die zwar von 2,31 M. für ein Cubikmeter nach und nach auf 0,80 M. zurückgingen, indess immer noch zu hoch blieben. Es darf dabei allerdings nicht ausser Acht gelassen werden, dass die Baggerei im unteren Theil des Hafens und auf der Barre zeitraubend und gefährlich war, denn trotzdem bei einer Wellenhöhe von 0,6 m noch gebaggert wurde, verlor man doch 36 % der Arbeitszeit durch unfreiwillige Pausen bei schlechtem Wetter, das oft plötzlich eintrat. Es gingen auch zwei Bagger in sieben Jahren verloren; sie wurden auf den Strand getrieben und völlig wrack.

Im Jahre 1882 wurden bereits 429 450 cbm, grösstentheils auf der Barre, gebaggert und man bemerkte schon eine Zunahme der Tiefe, freilich ohne damit das erstrebte Ziel ganz erreicht zu haben. Von der Spülung kam man dabei mehr und mehr zurück, denn man hatte erkannt, dass ihre rein örtliche Wirkung für den Zugang zum Hafen als gleichgültig, wenn nicht als schädlich betrachtet werden musste, denn das zwischen den Hafendämmen weggespülte Material blieb auf der Barre liegen, und zwar in um so geringerer Entfernung von der Hafenmündung, je besser der Zustand der Barre war.

Im Jahre 1883 begann man, einen andern Weg einzuschlagen. Man baggerte nicht nur im Hafenkanal und auf der Barre, sondern auch auf dem Strande, westlich vom Hafen, um hier einen Schutzgraben (fosse de garde) zu schaffen, der den zutreibenden Sand auffangen und dadurch Barre und Hafen davon freihalten sollte. Dieser Weg schien zum Ziele zu führen und im genannten Jahre und in den beiden folgenden wurden nachstehende Mengen gebaggert:

Im Jahre	Im Hafenkanal	Auf der Barre	Auf dem westlichen Strande	Zusammen
1883	140 273 cbm	196 876 cbm	180 300 cbm	517 449 cbm
1884	93 491 „	132 123 „	349 677 „	575 291 „
1885	119 360 „	45 909 „	324 234 „	489 503 „

Wie die Abb. 2 erkennen lässt, erreichte man dadurch in den beiden letzten Jahren — weiter reichen die Berichte nicht — eine Vertiefung der Barre von + 0,5 auf — 2,0 m, und die Schiffe, die vorher bei Hochwasser Springtide 5,45 und bei Hochwasser Tauber-Tide 4,45 m vorgefunden hatten, konnten nun auf 7,90 bezw. 6,90 m rechnen.

Dieser befriedigende Erfolg war durch die jährliche Baggerung von nicht mehr als 500 000 cbm bewirkt worden.

Die Kosten der Baggerei betrugen mit dem in den letzten Jahren vom Staate angeschafften Baggerpark:

0,1132 M. für Baggerung
0,0468 „ für Beförderung nach See auf 2 km Entfernung.

0,16 M. für 1 Cubikmeter in den Transportfahrzeugen gemessen, wozu noch die Zinsen der Anschaffungskosten von 336 000 M. für drei Dampfbagger kommen.

Die jährliche Baggerung von 500 000 cbm verursachte demnach nur einen Aufwand von 80 000 M.; eine geringe Summe mit den Kosten der Spülung verglichen, denn diese waren nach Herrn Eyriaud des Vergnes:

Baukosten des Bassin Becquet und seiner Schleuse .	5 360 000 M
Baukosten der übrigen Spüleinrichtungen, die gleichzeitig auch andern Zwecken dienten; mit der Hälfte angesetzt	3 680 000 „
Zusammen	9 040 000 M
davon 3 % Zinsen giebt jährlich	271 200 M
Für Unterhaltung der Bauwerke	40 080 „
Für Arbeitslöhne bei den Spülungen	12 760 „
Summe der Jahreskosten	324 040 M.

Noch mehr kommt aber hinzu. Um die Wirkung der Spülungen ausserhalb der Hafenköpfe zu verstärken, schaffte man hölzerne Leitwerke (guideaux) an, mit denen eine bewegliche Fortsetzung der Hafendämme hergestellt werden konnte. Diese Leitwerke, zehn an der Zahl und jedes von zehn Meter Länge, wurden mit der Ebbe aus dem Hafen geflösst und mit fallendem Wasser in der Richtung, die man der Spülrinne zu geben wünschte, auf Grund gesetzt. Sie wurden im Jahre 1862 angefertigt und bis zum Jahre 1878 ge-

braucht; da aber ihre Handhabung umständlich und nur bei sehr ruhigem Wetter möglich war, nicht öfter als 59 mal mit einer durchschnittlichen Länge von 200 m. Sie erforderten während der siebzehn Jahre an Ausgaben:

Anschaffung von 30 Leitwerken	131 200 M
Unterhaltung, Bewachung und Handhabung	219 321 „
Zusammen	350 521 M
davon ab den Erlös beim Verkauf	4 000 M
Bleibt	346 521 M,

wonach die einmalige Benutzung der Leitwerke, deren Wirkung schon wegen ihrer seltenen Anwendung nicht von Belang sein konnte, 5873 M. kostete.

Die Kostspieligkeit und die ungenügende Wirkung der Spülung sind aber nicht allein als ihre Mängel aufzuführen, sondern es kommt auch noch ihr schädlicher Einfluss auf die Weite des Hafenkanals hinzu. Um die Tiefe nach Möglichkeit zu vergrössern, beschränkte man die Weite des Hafenkanals auf 70 oder 75 m, für die langen Schiffe der Neuzeit zweifellos ein viel zu geringes Maass. Nichtsdestoweniger hob sich der Verkehr des Hafens

von 1 410 431 „tonnes de jauge“ im Jahre 1877
auf 2 115 307 „ „ „ „ „ 1885,

also in acht Jahren um 50 %, wodurch der Antrieb zu weiteren Verbesserungen gegeben war.

Inzwischen war schon im Jahre 1875 die Vergrösserung der Spülwassermenge von 680 auf 820 cbm in der Sekunde beschlossen worden, jedoch nur zum Theil ausgeführt, und Herr Eyriaud des Vergnes äussert die Ansicht, dass selbst eine Verdoppelung oder Verdreifachung der Spülkräfte nicht im Stande sein würde, eine durchschlagende Verbesserung der vor der Baggerung herrschenden Zustände herbeizuführen. Er tadelt auch die Richtung des Hafenkanals: Diese sei in den Zeiten der Segelschiffahrt zweckmässig gewesen, weil sie das Einsegeln bei den vorherrschenden westlichen Winden erleichtert habe; diese Rücksicht falle jetzt aber fort, weil jederzeit Schleppdampfer zur Verfügung ständen, und man könne, indem man die Richtung Süd-Nord statt der jetzigen Südost-Nordwest wähle, die Tiefenlinie von 7 oder 8 m auf einem um 500 m kürzeren Wege erreichen. Er skizzirt deshalb die in Abb. 3 dargestellte Hafenanlage, die in der Form mit der neuerdings üblichen übereinstimmt und bis zur ebengenannten Tiefe hinausreicht.

Im französischen Budget für 1902 sind 26 Millionen Francs für Dünkirchen beantragt, und man darf vielleicht vermuthen, dass sie für die Ausführung dieses oder eines ähnlichen Entwurfes verwendet werden sollen.

Ostende.

Der Hafen von Ostende ist 42 km in der Richtung N. O. z. O. von Dünkirchen entfernt und hat wie dieser von den andrängenden Sandmassen zu leiden. Seine Fluthgrösse ist in den Springtiden 5,0 m und in den tauben Tiden 3,6 m, also vortheilhaft für eine künstliche Spülung.

Die Geschichte dieses Hafens, die nach Minard abgekürzt hier folgt, ist wechselvoll und lehrreich.

Der jetzige Hafen wurde im Jahre 1600 durch Durchstechung eines Deiches gewaltsam eröffnet. Der Deich hatte eine Fläche von 3000 ha umschlossen; diese wurde nun zweimal täglich vom Wasser überfluthet und die abströmenden Wassermassen schufen und unterhielten eine genügende Tiefe im Hafen und auf dem Strande.

Später wurden Theile der freigelegten Fläche wieder eingedeicht. Dadurch verminderten sich die Tiefen und eine am 25. März 1662 angestellte Untersuchung ergab im Hafenkanal nur eine Tiefe von 0,7 bis 1,2 m unter Niedrigwasser, und auf der Barre vor dem Hafen, 270 m von den Hafenköpfen entfernt, nicht mehr als 0,6 m.

In demselben Jahre durchstach man abermals einen Deich, der mehr als 2000 ha geschützt hatte, und schaffte damit grosse Tiefen, so gross, dass die Einwohner schädliche Folgen für die Stadt fürchteten und wiederholt um die Schliessung des Durchstiches baten, wobei sie ausserdem von dem Wunsche geleitet wurden, wieder in den Besitz des werthvollen Marschlandes zu gelangen. Am 25. September 1698 fand sich im Hafenkanal eine Tiefe von 12,5 bis 17,9 m, auf der Barre aber nur 1,2 m Tiefe bei Niedrigwasser und zwar 760 m ausserhalb der Hafenköpfe. Der ganze Gewinn des rücksichtslosen Mittels hätte also nur in einer Vermehrung der Tiefe auf der Barre um 0,6 m bestanden, wenn nicht seitwärts, fast rechtwinklig zur Richtung des Hafenkanals und neben den Hafenköpfen, 2,1 m Wasser gefunden worden wären.

Im Jahre 1700 wurde der Polder geschlossen und im folgenden Jahre waren noch 5,3 bis 8,3 m Tiefe im Hafen und 1,8 m auf der Barre.

Wegen erneuter Klagen über die zunehmende Versandung wurden 1720 und im Juli 1721 die Deiche von einigen kleineren Poldern durchstochen, wodurch die Tiefe im November 1721 bis 2,1 m auf der Barre, 350 m von den Hafenköpfen, gewachsen war.

Im März 1725 fand sich auf derselben Stelle nur 1,5 m Wasser, im Kanal 2,7 bis 11,3 m.

Im Jahre 1727 war auf der Barre, 200 m ausserhalb der Hafenköpfe, eine Tiefe von 0,7 m, im Hafenkanal von 1,8 bis 5,6 m.

Im Jahre 1744 schloss man den Polder, weil er durch all-

mählige Aufschlickung soweit erhöht war, dass seine Ueberschwemmung wenig Nutzen schaffte.

Die Versandung des Hafens und der Barre nahm nun unausgesetzt zu und im Jahre 1810 betrug die Tiefe im Kanal 0,5 bis 2,3 m, auf der Barre nur 0,15 m, in einem Abstande von 187 m von den Hafenköpfen.

Jetzt erbaute man die erste Spülschleuse und griff damit zu einem Mittel, das schon im Anfange des 16. Jahrhunderts in dem alten, auf der andern Seite Ostende's gelegenen Hafen angewandt worden war.

Nach den ersten 52 Spülungen war am 28. Mai 1811 die Tiefe im Kanal auf 0,62 m bis 2,57 m gewachsen und auf der Barre bis 0,49 m, von den Hafenköpfen 230 m entfernt.

Durch Erbauung einer zweiten Spülschleuse und Verengung des Hafenkanals von etwa 130 m auf 50 m, war im Jahre 1844 eine fernere Vermehrung der Tiefe erzielt worden. Sie betrug im Kanal 1,9 bis 4,3 m, auf der Barre 1,7 m, gleichmässig in einer Entfernung von 15 m bis 190 m von den Hafenköpfen. „Aber," fügt Minard hinzu, „diese Tiefe vermindert sich im Winter, derjenigen Jahreszeit, in der die Spülungen unwirksam sind, wegen der Höhe des durch die Nordwestwinde zurückgehaltenen Wassers."

Vergleicht man die Tiefen im Kanale und auf der Barre in den verschiedenen Jahren mit einander, so findet man keineswegs beide gleichzeitig zu- oder abnehmend. Unter der wohl zulässigen Voraussetzung, dass die Tiefen im Kanale unmittelbar von der Spülwassermenge abhängen, muss man daraus folgern, dass bei Erzeugung der Tiefe auf der Barre noch andere Umstände mitwirken, die sich der Berechnung vollständig entziehen. Bisweilen scheint die Entfernung des höchsten Punktes der Barre von den Hafenköpfen mit der Wassermenge zu wachsen, aber auch das trifft nicht immer zu, und es bleibt nur der Schluss übrig, dass die Spülung kein geeignetes Mittel ist, um eine bestimmte Tiefe auf der Barre hervorzubringen. Am deutlichsten spricht in dieser Beziehung das Jahr 1698, in dem bei der erstaunlichen Tiefe von 17,9 m im Hafenkanal nur 1,2 m Tiefe auf der Barre gefunden wurden; selbst wenn man die gleichzeitig neben den Hafenköpfen gefundene Tiefe von 2,1 m gelten lässt, so ist auch diese nicht grösser, als sie im Jahre 1721 bei einer sehr viel geringeren Spülwassermenge angetroffen wurde.

In späteren Jahren wurde der Hafenkanal wieder auf ungefähr 100 m verbreitert und die Spülwassermenge, nach Eyriaud des Vergnes, bis auf 1100 cbm in der Sekunde gesteigert, jedoch ohne viel mehr dadurch zu erreichen, wie sich nach den Erfahrungen der vorigen Jahrhunderte auch schon vorher hätte erwarten lassen. Man entschloss sich deshalb im Jahre 1880 zu baggern und erreichte damit

schon nach zwei Jahren eine durchgehende Tiefe von 3 m bei Niedrigwasser Springtide. Mehr schafften die Spülungen im Hafenkanale auch nicht; da man aber fortfuhr zu baggern — bis Ende 1886 waren bereits 1 090 000 cbm gefördert — so wird man vielleicht, ebenso wie in Dünkirchen, dahin gelangen, völlig von den Spülungen abzusehen und sich nur noch auf die Baggerungen verlassen.

Boulogne.

Boulogne gehört eigentlich nicht mehr zu den Häfen, die von der Spülung abhängig sind, denn seit dem Anfang der achtziger Jahre des vorigen Jahrhunderts ist man dort mit der Ausführung eines, zu 25 600 000 M. — veranschlagten Hafens von 250 ha Grösse beschäftigt, der sich bis 7 m unter Niedrigwasser erstreckt und den alten Hafen umschliesst. Früher jedoch legte man sehr grossen Werth auf die Spülungen, da man, ebenso wie in Calais und Ostende, die nach England fahrenden Personendampfer jederzeit sofort nach Ankunft der Eisenbahnzüge abgehen zu lassen wünschte. Ungeachtet einer Springfluthgrösse von 7,86 m und eines 60 ha grossen Spülbeckens blieb dieser Wunsch unerfüllt, denn als ich im Jahre 1865 den Hafen besuchte, wurde mir als grösste Tiefe auf der Barre während eines fünfjährigen Zeitraumes 0,23 m bei Niedrigwasser Springtide angegeben, als geringste gar 0,77 m über Niedrigwasser Springtide; Grund genug, um die Erreichung des erstrebten Zieles auf anderem Wege zu verfolgen.

Die weitere Erwähnung des Hafens könnte demnach ganz unterbleiben, wenn nicht die Lage seiner Spülschleusen bemerkenswerth wäre. Diese, zwei an der Zahl, liegen nämlich nicht an einer eingeengten Stelle, sondern, in einem Abstande von 30 m von einander, in einem 25 m breiten Damm, der auf der Seite des Spülbeckens die Länge von 100 m, auf der des Tidehafens von 135 m hat, wodurch sowohl Zu- wie Abfluss des Wassers erleichtert werden. Infolge dessen stellt sich der Ausflusscoefficient günstiger, wie die folgende Rechnung beweist.

Bei einem anfänglichen Stande des Wassers im Spülbecken von 8,39 m über Niedrigwasser Springtide flossen durch die Schleusen:

Nach Oeffnung der Schleusen	In fünf Minuten	In einer Sekunde
5 Minuten	48 510 cbm	161 cbm
10 „	52 392 „	174 „
15 „	60 888 „	203 „
20 „	64 200 „	214 „
25 „	56 825 „	189 „

u. s. w.

Die beiden Schleusen haben jede eine Weite von 6 m, wovon nach Abzug der beiden Drehthore eine nutzbare Breite von 10,8 m bleibt. Die anfängliche nutzbare Druckhöhe war 5,2 m und im Augenblicke der grössten Abflussmenge, also 20 Minuten nach Oeffnung der Schleusen, kann sie mit Rücksicht auf die grosse Länge des Spülbeckens auf 4,57 m geschätzt werden. Danach bestimmt sich die Grösse der Ausflussöffnung zu $4{,}57 \cdot 10{,}8 = 49{,}4$ qm und die grösste Ausflussgeschwindigkeit zu $\frac{214}{49{,}4} = 4{,}33$ m in der Sekunde. Die theoretische Ausflussgeschwindigkeit ergiebt sich zu $0{,}67 \sqrt{19{,}62 \cdot 4{,}57} = 6{,}34$ m, also der Ausflusscoefficient zu $\frac{4{,}33}{6{,}34} = 0{,}68$.

Der Coefficient übertrifft den für Dünkirchen gefundenen fast um ein Drittel, und man kann Minard nur zustimmen, wenn er den Halbkreis mit der Schleuse im Mittelpunkt theoretisch für die zweckmässigste Form eines Spülbeckens erklärt. Diese Form ist indess einestheils von geringem Werthe, weil das Gefälle im Becken nur unbedeutend ist, anderntheils ist sie geradezu schlecht, wenn, wie gewöhnlich, schlickhaltiges Wasser zur Spülung benutzt werden muss. Will man sich bei einem mit schlickhaltigem Wasser gespeisten Becken möglichst gegen Aufschlickung schützen, so findet man dafür annähernd die Form eines sehr spitzen Dreiecks mit der Schleuse in der Mitte der Basis. Da es ausserdem nur darauf ankommt, während einer kurzen Zeit, etwa einer halben Stunde, grosse Ausflussmengen zu erhalten, und da ferner die Aufschlickung über der Höhe des Hochwassers tauber Tide nur unmerklich zu sein pflegt, so wird man vortheilhaft auf beiden Seiten der längs der Mitte liegenden Rinne den grössten Theil des Beckens auf die Höhe des Hochwassers tauber Tiden legen können. Ausräumungen des Beckens werden dann nur in seinem oberen Theile von Zeit zu Zeit nöthig werden.

Havre.

Havre liegt an der Mündung der Seine auf ihrem rechten Ufer und seine natürliche Beschaffenheit ist der der Häfen am Kanale sehr ähnlich. Es übertrifft sie aber sämmtlich in hohem Grade durch seinen Verkehr und durch seine Bedeutung für den Handel, und man ist deshalb dort auch zuerst darangegangen, veraltete Einrichtungen durch bessere zu ersetzen.

Schon im Jahre 1854 war ein Dampfbagger im Hafen thätig und im Jahre 1857 war ein stärkerer Bagger im Bau begriffen, der zur Vertiefung der Rhede dienen sollte. Dieser erhielt eine Schraube, um, wenn das Wetter zu schlecht, oder wenn, wie regelmässig in den Springtiden, die Strömung zu stark werden sollte, den Arbeitsplatz verlassen und in den Hafen dampfen zu können.

Nichtsdestoweniger hatte man im Jahre 1865 die Spülung noch nicht aufgegeben. Zwei Oeffnungen neben der Schleuse de la Barre lieferten 195 700 cbm Wasser aus den Docks, mit einem Maximum von 108,5 cbm in einer Sekunde. Die Breite des Hafens bei Niedrigwasser Springtide betrug nur 30 m und der Querschnitt 60 qm, wonach der Spülstrom eine mittlere Geschwindigkeit von 1,8 m in der Sekunde erzeugte. In dieser Rinne war also bei der Springfluthgrösse von 7,2 m eine Tiefe von 9,2 m bei Hochwasser Springtide und von 7,5 m bei Hochwasser tauber Tide, was aber für den grossen Verkehr bei der geringen Breite der Rinne völlig unzureichend war. Man baggerte deshalb im Hafen jährlich 50 000 cbm bis zur Tiefe von 2,3 m unter Niedrigwasser Springtide. Auf der Rhede fand man stellenweise kaum mehr Wasser, woraus hervorgeht, dass eine Nachhülfe für grössere Fahrzeuge durchaus nothwendig war, wenn man nicht den Verkehr auf wenige Stunden vor und nach Hochwasser beschränken wollte.

Als ich den Hafen im Jahre 1865 besuchte, fiel es mir auf, dass man die Spülung neben der Baggerung noch vortheilhaft fand, allein der mich begleitende Conducteur des ponts et chaussées war anderer Meinung und sagte mir, dass die Spülung jährlich 16 000 cbm Boden aus dem Vorhafen beseitige. Auch waren weitere Spüleinrichtungen schon projektirt oder in der Ausführung begriffen. Allein schon zwei Jahre später, als ich einen Freund in Havre um einige Zahlen über die Spülung bat, ertheilte ihm der dortige Ingénieur en chef die erbetene Auskunft und schloss sein Schreiben mit den Worten: „Les chasses du port du Havre ne produisent aucun résultat; l'action de l'eau pendant la chasse est presque nulle sur le fond; c'est tout au plus si elle se fait sentir sur les bords, qu'elle corrode légèrement. — Le travail exécuté à grands frais pour les chasses du port du Havre est un travail manqué."

Vor kurzem las ich in der Zeitung, dass dem Hafen eine Einfahrt von 305 m Weite gegeben werden solle, die bei Niedrigwasser einen Tiefgang der Schiffe von 9 bis 9,5 m zulassen werde. Derart sind die Ansprüche gewachsen: Damals, vor einem Menschenalter war der Tiefgang von 7 Metern bei Hochwasser tauber Tide der höchste zulässige; jetzt dagegen schickt man sich an, auch die grössten Schiffe bei Niedrigwasser jederzeit ungehindert ein- und auslaufen lassen zu können.

Cuxhaven.

Der Hafen von Cuxhaven liegt unmittelbar am tiefen Fahrwasser der Elbe und ist durch die Abwässerung der angrenzenden Marschländereien entstanden. Diese Ländereien waren durch einen Deich eingeschlossen, das Wasser floss durch das im Deiche liegende Siel

gegen Ende der Ebbe ab und höhlte eine Rinne im Watt aus, die ungefähr in der Höhe des Niedrigwassers in die Elbe mündete. Da die Fluthgrösse 2,8 m betrug, konnten Fahrzeuge bis zu diesem Tiefgange die Rinne aufsuchen, um gegen südwestliche und westliche Winde geschützt zu sein.

Im Laufe des 18. Jahrhunderts wurde der Hafen durch die Umfassung mit Bohlwerken und Steindämmen verbessert, aber seine Tiefe blieb ungeändert. Man bemühte sich gegen Ende des Jahrhunderts, sie durch Graben und Baggern zu verbessern, aber vergeblich, weil die Hülfsmittel der damaligen Zeit nicht soviel aus dem Hafen zu schaffen vermochten, wie durch die natürliche Aufschlickung wieder hineingelangte.

Reinhard Woltman, später langjähriger Wasserbaudirector in Cuxhaven und Hamburg, lernte die künstlichen Hafenspülungen in Frankreich und England kennen, und seinen Bemühungen gelang es im Jahre 1792, auch in Cuxhaven eine solche einzurichten.

Abb. 4 zeigt den Lageplan des Hafens im Jahre 1854, der sich, soweit es hier in Betracht kommt seit dem Jahre 1792 nicht verändert hatte, und Abb. 5 enthält ein Hafenprofil aus diesem Jahre, das gemessen worden ist, bevor die Spülschleuse in Betrieb genommen wurde. Das auf dem Lageplan ersichtliche Spülbecken von 1300 m Länge ist durch die Spülschleuse abgeschlossen. Diese bleibt 36 m vom Hafen entfernt; das vor ihr liegende Gerinne endet in der Höhe von 0,3 m über Null*) und wird beiderseits durch Bohlwände begrenzt, von denen die westliche 27 m in den Hafen hinein vorspringt.

Die Spülungen begannen sogleich nach Vollendung der Schleuse und wurden Tag und Nacht fortgesetzt, wobei man sich nicht wie in anderen Häfen auf die Springtiden beschränkte, weil die Höhe der Tiden in Cuxhaven häufig mehr vom Winde als vom Mondesalter abhängt und deshalb im allgemeinen vorher nicht bestimmt werden kann.

Die Erfolge der Spülungen waren sehr befriedigend. Unmittelbar vor dem Gerinne bildete sich zwar ein 70 m langer Kolk, der, ungeachtet der Bemühungen ihn mit Faschinen und Steinen auszufüllen, doch allmählich eine Tiefe von 4 bis 5 m unter Null erreichte und für die Schiffahrt nutzlos blieb, weil er wegen seiner steilen Ränder als Liegeplatz unbrauchbar war. An den Kolk schloss sich eine Strecke von 120 m Länge — auf dem Lageplan mit a b bezeichnet — deren Gestaltung allein der Wirkung des Spülstromes zugeschrieben werden muss. Die letzte Strecke von 105 m Länge

*) d. h. dem Nullpunkt des alten Fluthmessers, der 0,11 m unter mittlerem Niedrigwasser lag.

wird theils durch die Spülung, theils durch die aus dem benachbarten Quarantänehafen kommenden Strömungen beeinflusst und darf deshalb nicht nur als Ergebniss der Spülungen betrachtet werden.

Das in Abb. 5 mit der Jahreszahl 1821 bezeichnete Profil ist beliebig aus der Reihe der jährlich angestellten Messungen herausgegriffen und lässt den grossen Gewinn gegen das Jahr 1792 deutlich erkennen: die nutzbare Tiefe ist um ein volles Meter gewachsen und der Querschnitt des Niedrigwasserprofils ist von + 24,8 auf — 31,2 qm, also um 56 qm gewachsen.

Nun konnten Schiffe von 4 m Tiefgang bei Hochwasser in den Hafen gelangen, womit man sich 50 Jahre lang begnügte, obgleich die Rinne schmal war und steile Seiten hatte. Zuerst im Jahre 1850 vertiefte man den Hafen unterhalb der Spülschleuse mit einem Dampfbagger bis $1^1/_2$ oder 2 m unter Null, wodurch auch die Spülung wirksamer wurde. Denn der feste Sand, der den Hafengrund gebildet hatte, wurde durch den Bagger weggenommen, und der Schlick, der ihn bald ersetzte, konnte mit geringerer Geschwindigkeit von der Strömung weggerissen werden. Dies wird durch einen Versuch vom 15. Februar 1859 bewiesen, der in seinen Einzelheiten mitgetheilt werden soll.

An diesem Tage wurden die Wasserstände im Hafen und an der Mündung des Spülbeckens von fünf zu fünf Minuten beobachtet und die Geschwindigkeit des ausströmenden Wassers wurde im Hafen einige Male mit dem Woltman'schen Flügel gemessen. Nicht gemessen sind die Wasserstände am oberen Ende des Spülbeckens, aber dies ist bei einer anderen Gelegenheit geschehen und die Gefälle im Spülbecken haben sich ergeben wie folgt:

5 Minuten	nach Oeffnung	0,11 m
10 bis 80 Minuten	der	0,05 bis 0,07 m
85 „ 120 „	Schleusenthore	0,07 m auf 0,17 m steigend,

nachdem das Wasser schon von 3,15 m bis 2,03 m über Null gefallen war.

Der stärkste Abfluss von 50 cbm in einer Sekunde erfolgte um 5^h 5′, fünfzehn Minuten nach Oeffnung der Schleusenthüren. Der wasserhaltende Querschnitt des bei *b* gemessenen Profils war gleichzeitig 70 qm bei 69 m Profilbreite, woraus sich die mittlere Geschwindigkeit zu 0,71 m in der Sekunde findet, während fünf Minuten früher die in demselben Profile gemessene Geschwindigkeit 0,72 m betrug. Das Gefälle war 0,0358 m auf 227 m, folglich $\alpha = \frac{0{,}0358}{227} = 0{,}000158$ bei der mittleren Tiefe von 1,02 m. Daraus

Beobachtungen vom 15. Februar 1859.

Zeit nach Mittag	Wasserstand über Null: Hafenmündung	Wasserstand über Null: Im Profil bei *a*	Wasserstand über Null: Mündung Spülbecken	Senkung an der Beckenmündung	Im Profil bei *b*: Geschwindigkeit in 1 Sek.	Im Profil bei *b*: Wasserhaltender Querschnitt	Fläche des Beckens qm	Ausfliessende Wassermenge in 1 Sek.	Bemerkungen
4h 45′	0,406 m	0,406 m	2,72 m	—	—	—	213 931	—	
4 50	0,394 „	—	2,72 „	—	—	—	do.	—	Schleuse geöffnet.
4 55	0,371 „	—	2,71 „	0,01 m	0,66 m	—	do.	7 cbm	
5 0	0,359 „	—	2,65 „	0,06 „	0,72 „	70 qm	do.	43 „	
5 5	0,347 „	0,383 „	2,58 „	0,07 „	—	—	do.	50 „	
5 10	0,335 „	0,359 „	2,51 „	0,07 „	0,63 „	—	203 172	47 „	
5 15	0,323 „	—	2,44 „	0,07 „	—	—	192 825	45 „	
5 20	0,311 „	—	2,36 „	0,08 „	—	—	178 043	47 „	
5 25	0,305 „	—	2,29 „	0,07 „	0,63 „	—	139 056	32 „	
5 30	0,299 „	—	2,22 „	0,07 „	—	—	114 140	27 „	
5 35	0,299 „	—	2,15 „	0,07 „	—	—	105 349	25 „	
5 40	0,299 „	—	2,08 „	0,07 „	0,52 „	—	96 643	23 „	Niedrigwasser.
5 45	0,311 „	—	2,01 „	0,07 „	—	67 qm	87 936	20 „	

ergiebt sich nach der Eytelwein'schen Formel $k = \frac{C}{\sqrt{a\ t}}$ -

$= \frac{0,71}{\sqrt{0,000158 \cdot 1,02}} = 56$, entspricht also den bei Flüssen gemachten Erfahrungen. Eine Abweichung von diesen liegt nur in dem für die Geschwindigkeit des Wassers unerwartet kleinen Querschnitt. Obgleich der Grund aus losem, weichen Schlick bestand, leistete er doch einer Geschwindigkeit des Wassers von 0,71 m in einer Sekunde Widerstand, während in natürlichen Flüssen eine geringere Geschwindigkeit zur Fortbewegung groben Sandes hinreicht. Die Erklärung muss darin gefunden werden, dass der nur wenige Minuten wirksame Spülstrom die einzelnen Theile des Grundes mitreissen muss, wenn er sie überhaupt bewegen will, während der Tag und Nacht ununterbrochen dahinströmende Fluss sie nur fortzurollen oder fortzuschieben braucht, wozu jedenfalls eine viel geringere Kraft erforderlich ist. In dem bei *a* gemessenen Profile enthielt der wasserhaltende Querschnitt sogar nur 49 qm, die Geschwindigkeit war also 1,04 m in der Sekunde. Dabei muss noch beachtet werden, dass die Spülung vergleichsweise sehr schwach war, denn das Hochwasser stieg nur bis auf 2,72 m und der Wasserstand zur Zeit der grössten Ausflussmenge war 0,35 m; bei Springtiden sind aber Hochwasser von 3 m und Niedrigwasser von Null und weniger ganz gewöhnlich.

Bei häufigeren Spülungen erhält man deshalb auch grössere Querschnitte, wie die folgenden Beispiele zeigen.

Die eben betrachteten Profile bei *b* und *a*, deren Querschnitte unter Null am

15. Februar 1859 waren:	50,3	und	38,8 qm
erreichten im Jahre 1861 folgende Querschnitte, als nach achtmonatiger Unterbrechung wieder gespült wurde:			
am 18. Juni vor der 1. Spülung	61,3	„	37,9 „
„ 29. „ nach „ 3. „	61,3	„	46,4 „
„ 2. Juli „ „ 8. „	63,2	„	45,7 „
„ 29. „ „ „ 60. „	62,2	„	51,6 „
„ 22. August etwa nach der 100. Spülung . .	59,9	„	53,0 „

Vor dem Beginn dieser Spülungen waren beide Profile in dem Zustande, in den sie seit der vorjährigen Baggerei durch Aufschlickung versetzt worden waren und das Profil bei *a* war wegen seiner Lage in der Nähe des oberen Endpunktes der Baggerei stärker aufgeschlickt als das andere. Während der Spülungen nähert sich das kleinere in der Grösse dem grösseren immer mehr, und nach der 100. Spülung sind beide nur noch wenig von einander verschieden. Dabei ist die Unveränderlichkeit des Profils bei *b* nur scheinbar, denn auf der Seite des Spülstromes hat es sich um 0,36 bis 0,50 m vertieft, auf der entgegengesetzten bis zu 0,79 m erhöht, im ganzen also seine Form bedeutend umgestaltet. In Abb. 5 ist es nach der Messung vom 22. August 1861 dargestellt. Seine Grösse übertrifft diejenige vom 15. Februar 1859 fast um 20 %, allein es muss bemerkt werden, dass während der 100 Spülungen Tiden von — 0,21 m und — 0,26 m vorkamen, also um 0,56 m und 0,61 m niedriger als an jenem 15. Februar, wodurch die Vertiefung und der Querschnitt entsprechend wachsen mussten. Ob auch das Gefälle, bleibt zweifelhaft, denn von der Druckhöhe von 2,8 m bleiben etwa 0,9 m in unmittelbarer Nähe der Schleusenthore, 0,9 m im Gerinne, 0,9 m am Ende des Sturzbettes, und von dem Rest bleiben nur wenige Centimeter für das Gefälle im Hafen übrig.

Mit dem Jahre 1859 begann man den Hafen bis etwa 2,5 m unter Null auszubaggern und wie sehr die dadurch geschaffenen Profile die durch die Spülung erzeugten übertrafen, zeigt das „gebaggerte Profil“ vom 4. October 1866 in Abb. 5. Es lag nahe, die Frage aufzuwerfen, ob unter diesen Umständen der Spülung neben der Baggerung noch irgendwelche Bedeutung zugeschrieben werden müsse. Um sie zu entscheiden, wurden in den Jahren 1859 bis 1866 fünfzehn Beobachtungen über das Maass der Aufschlickung angestellt,

die sich im ganzen über 1400 Tage erstreckten. Bei sieben von diesen Beobachtungen mit 682 Tagen wurde täglich gespült, bei den acht anderen mit 718 Tagen war die Spülschleuse geschlossen. Am Anfange und am Ende jeder Beobachtungszeit wurden sorgfältige Tiefenmessungen auf der gebaggerten Fläche — soweit sie als frei von anderen Einflüssen betrachtet werden konnte — vorgenommen, daraus wurde die Aufschlickung während der Beobachtungszeit ermittelt und aus dieser dann die jährliche Aufschlickung berechnet. Ferner wurden für jede der fünfzehn Perioden die Durchschnittswerthe der Hoch- und Niedrigwasser, der Winde und der Temperaturen bestimmt, weil die Aufschlickung dadurch in hohem Grade beeinflusst wird. Man ersah daraus, dass die sieben Perioden mit Spülung fast genau unter denselben Verhältnissen verflossen waren wie die acht Perioden ohne Spülung und die jährliche Aufschlickung fand sich im Mittel aus ersteren zu 1,36 m, aus letzteren zu 1,34 m; oder, mit anderen Worten, die Spülungen waren durch die Baggerungen völlig nutzlos geworden. Die Spülschleuse wurde deshalb schon im Jahre 1864 gesperrt und im folgenden Jahre erhielt das Spülbecken eine neue Mündung nach der Elbe.

Die Kosten der Spülungen betrugen mit Einschluss des Neubaues der Schleuse, der Einrichtung des Spülbeckens und sämmtlicher Unterhaltungsarbeiten in den 74 Jahren von 1792 bis 1865 in runder Zahl 280 000 M., also jährlich 3800 M. Um damit den durch die Spülungen geschaffenen Nutzen zu vergleichen, muss man berücksichtigen, dass die Wirkung der Spülungen sich nicht auf den unmittelbar gespülten Theil des Hafens beschränkte, sondern dass auch der oberhalb der Spülschleuse gelegene Theil des Hafens bis zu der auf Abb. 4 angegebenen Brücke dadurch mittelbar um 0,9 m vertieft wurde. Bei der Hafenlänge von 430 m und der mittleren Hafenbreite von 62 m sind also $0{,}9 \cdot 430 \cdot 62 = 23\,994$ cbm durch die Spülung beseitigt worden. Innerhalb zwei Jahren wäre diese Masse ohne die Spülungen durch Schlick wieder ersetzt, und man kann deshalb annehmen — wobei man für die Spülung noch zu ungünstig rechnet — dass jährlich 11 997 cbm Schlick durch die Spülungen beseitigt worden sind. Bei den Jahreskosten von 3800 M. kostete demnach 1 cbm nicht mehr als 0,32 M.; vergleichsweise ein sehr geringer Betrag, denn nach Ausweis der alten Akten kostete vor 100 Jahren die Beseitigung eines Cubikmeters Boden aus dem Hafen durch Handarbeit 1,30 M.

Birkenhead.

Die Spülung in Birkenhead ist die kühnste Anlage ihrer Art, die je irgendwo zur Ausführung gelangt ist; leider kann sie nicht auch zu den gelungenen gezählt werden.

Herr John Ellacott, Mitglied der Institution of Civil Engineers

in London. hielt am 11. Mai 1869 einen Vortrag*) in diesem Vereine über den Tidehafen in Birkenhead und seine Spülung, der bald darauf veröffentlicht wurde. Diesem Vortrage und der sich anschliessenden Besprechung sind die folgenden Mittheilungen hauptsächlich entnommen.

Birkenhead liegt Liverpool gegenüber an der über 1000 m breiten Mersey, die hier eine Fahrwasserrinne von 18 m Tiefe bei Niedrigwasser aufzuweisen hat.

Neben Birkenhead mündete in die Mersey ein Priel von $3^3/_4$ km Länge und 138 ha Fläche, Wallasey Pool genannt, der bei Niedrigwasser fast trocken lief, aber bei der beträchtlichen Fluthgrösse von 4,0 bis 8,2 m als Zufluchtsort für kleine Fahrzeuge bei schlechtem Wetter benutzt werden konnte.

Im Jahre 1843 wurde James M. Rendel, einer der bedeutendsten englischen Ingenieure seiner Zeit, von einer Gesellschaft mit dem Entwurf eines Hafenprojectes für Birkenhead beauftragt und im folgenden Jahre legte er seinen Plan vor, der sich in mehrfacher Beziehung auszeichnete. Ausser einer Anzahl gewöhnlicher Docks enthielt er nämlich in der Mündung von Wallasey Pool einen Tidehafen, der mit dem in dem übrigen Theil von Wallasey Pool zurückgehaltenen Wasser gespült und tiefgehalten werden sollte. Der Tidehafen — Low water basin — von 3,74 m Tiefe bei Niedrigwasser Springtide sollte auch ferner als Zufluchtshafen für Schiffe mässiger Grösse dienen und das great float, wie der obere Theil von Wallasey Pool nun genannt wurde, war gleichzeitig zum Spülbecken und zum Dock bestimmt.

Dieser grossartige Plan, grossartig durch Ausdehnung und Tiefe des Tidehafens und des Spülbeckens, gelangte nicht sogleich zur Ausführung, weil mannigfache Hindernisse sich ihm entgegenstellten. Nachdem einige der kleinen Docks fertig geworden waren, gerieth die Gesellschaft in Schwierigkeiten und musste sich insolvent erklären. Das ganze Unternehmen gelangte in die Hände des Mersey Docks and Harbour Board, und da Rendel inzwischen gestorben war, übertrug man dem Ingenieur John B. Hartley die technische Leitung.

Hartley erklärte die beabsichtigte Spülung für ein höchst gewagtes Experiment und sprach dem Tidehafen als Zufluchtsort jegliche Bedeutung ab, weil die gefährlichen Winde aus Nordwest kämen und kein Segelschiff dann einlaufen könne. Andere Sachverständige pflichteten ihm bei, allein ohne Erfolg; die Autorität Rendel's siegte

---

*) Description of the Low Water Basin at Birkenhead by John Ellacot, M. Inst. C. E. — Excerpt Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Vols. 28 and 29, London 1870.

und Hartley wurde genöthigt, den Tidehafen mit der Spülung seinem Projecte einzuverleiben.

Im Jahre 1858 wurden die Bauten fortgesetzt, allein vor ihrer Vollendung im Jahre 1863 trat der Ingenieur G. F. Lyster an Hartley's Stelle und ihm fielen die Versuche mit der von Rendel entworfenen und von Hartley in etwas abweichender Form hergestellten Spülung zu.

Auf dem Lageplan, Abb. 6, sind die erbauten Docks und der Tidehafen ersichtlich. Dieser liegt in der Mitte der Anlagen an der Mersey; seine Länge ist 518 m, seine Breite am Flusse 92 m und vor den Schleussen 116 m und seine Fläche beträgt $5^1/_2$ ha. Von dem great float wird er durch einen 107 m breiten Damm getrennt, dessen Mitte eine Kammerschleuse von $15^1/_4$ m Weite einnimmt. Auf jeder Seite der Schleuse liegt ein überwölbter Spülkanal von 9,15 m Breite und 5,8 m Höhe, der auf der oberen Seite durch Stemmthore abgeschlossen werden kann. An der unteren Seite theilt sich, wie aus Abb. 7 hervorgeht, jeder dieser beiden Kanäle in 10 viereckige Spülkanäle von 2,44 m Höhe und 1,574 m Breite, die unmittelbar in den Tidehafen, mit der Sohle 2,97 m unter Niedrigwasser Springtide, münden. Einige Meter vor dem Tidehafen senkt sich die Decke der Spülkanäle und ihre Seiten entfernen sich von einander, so dass sie an der Mündung 1,37 m hoch und 3,66 m breit sind. Rendel glaubte nämlich, dass eine thunlichst ununterbrochene und unmittelbar über der Tidehafensohle einströmende Wasserschicht auch die grösste Wirkung auf diese Sohle ausüben werde.

Die zwanzig Spülkanäle von je 3,84 qm, zusammen von 76,8 qm Querschnitt können durch Schütze geschlossen oder freigemacht werden. Die für den gewöhnlichen Gebrauch bestimmten Schütze werden durch hydraulische Kraft bewegt und können durch eins der beiden Reserveschütze ersetzt werden. Auf dem Uebergange von den grossen zu den kleineren Kanälen befindet sich ein glockenförmiger Raum mit nach oben führenden Schächten, um etwa eingesperrter Luft einen gefahrlosen Ausweg zu verschaffen. Vor den Spülkanälen liegt ein 24 m breites Sturzbett, das durch 0,3 m starke Spundwände an der Aussenkante und in der Mitte gesichert ist. Der Längenschnitt, Abb. 8, zeigt die Höhenlage der einzelnen Theile.

Während des Baues war vor dem Tidehafen an der Mersey ein mächtiger Klopfdamm von 12 m Höhe über dem Grunde aufgerichtet und man war mit der Vertiefung des Tidehafens gerade fertig, als am Morgen des 18. Juni 1863 der Damm auf ein Drittel seiner Länge plötzlich wegflog, wobei die zerbrochenen Pfähle, Riegel und anderes Holzwerk in einer wüsten Masse von dem einstürzenden Wasser weggeschwemmt wurden. Zugleich wurde ein Loch eben innerhalb des Dammes ausgehöhlt und eine Erdmasse von 15 000 cbm, nach

roher Schätzung, wurde in der Mitte und in der Nähe vom oberen Ende des Tidehafens wieder abgelagert.

Die Folge dieses Unfalles war, dass beim Beginn der Spülungen 0,82 m an der beabsichtigten Tiefe des Tidehafens fehlten, wodurch seine Tiefe auf 2,92 m unter Niedrigwasser Springtide abnahm.

Am 20. Januar 1864 fand die erste Spülung statt und bis in den November wurden die Spülungen, stets während der Springtiden, fortgesetzt, wie die folgende Tabelle zeigt:

Tage der Spülungen 1864	Anzahl der Spülungen	Ganze Spüldauer	Fehlende Tiefe nach dem Spülen m
Januar 20. 22. 23. 25.	4	3^h 23′	0,78 m
März 22. 23. 24. 26.	4	1^h 54′	0,78 „
April 11.	1	0^h 30′	0,88 „
Mai 4. 5. 6. 7. 9.	5	2^h 46′	0,68 „
Juni 4. 6. 7.	3	1^h 7′	0,63 „
Juni 20. 21. 22. 23. 24. 25.	6	2^h 4′	0,58 „
Juli 4. 5.	2	0^h 34′	0,48 „
Juli 18. 19. 20. 21.	4	0^h 55′	0,48 „
August 16. 17. 18. 19. 20. 22.	6	2^h 17′	0,40 „
August 31. September 1. 2. 3.	4	1^h 23′	0.38 „
September 14. 15. 16. 17. 19.	5	1^h 51′	0,33 „
October 1. 2.	2	0^h 39′	0,33 „
October 13. 14. 17. 18.	4	1^h 24′	0,35 „
October 31. November 1. 2. 11. 14. 15.	6	1^h 58′	0.35 „
Zusammen	56	22^h 45′	

Das Oeffnen und Schliessen der Schütze erforderte je 4 bis 10, durchschnittlich 7 Minuten, und die darauf verwendete Zeit ist in den obigen Angaben über die Spüldauer eingeschlossen. Gewöhnlich wurden aber nur einige Schütze zur Zeit gezogen und nicht alle gleichzeitig.

Die Spülungen verliefen nicht ganz ohne Zwischenfälle. Am 25. Januar, bei dem vierten Versuch, wurden die Thore des nördlichen Kanales aus ihren Angeln gerissen und weggeschwemmt, obgleich sie vorher fest in ihre Kammern zurückgezogen worden waren. Die nördlichen Schützen wurden sogleich geschlossen, wobei ein 6 m hoher Wasserstrahl aus dem Luftschacht hinausgeschleudert worden sein soll. Die Untersuchung ergab, dass kein weiterer Schaden erfolgt war; nur hatte sich ein Pfahl auf unerklärliche Weise unter eins der Schütze geklemmt, das deshalb nicht niedergelassen werden konnte.

Am 21. Juli wurden die Thore des südlichen Zuleitungskanales in derselben Weise weggerissen.

Bei den Messungen der Querprofile des Hafens, die nach jedem Satz Spülungen gemacht wurden, hatte man bald entdeckt, dass die Hafensohle sich vor dem Sturzbett vertiefte und am 22. August fand man hier ein 1,8 m tiefes Loch, das trotz aller Versuche, es durch Verstürzen von grossen Steinen auszufüllen, nicht verschwinden wollte. Am 15. November, nach Beendigung der Versuche, war die Spundwand am Ende des Sturzbettes bis zur Tiefe von 1,2 m entblösst und von da ging es steil hinunter bis zur Tiefe von 2,7 m unter die ursprüngliche Sohle des Tidehafens. Auch hatten die Köpfe der Spundpfähle vor dem Sturzbett sich um 0,07 m bis 0,22 m von dem Mauerwerk entfernt.

Am 23. November wurde das Wasser aus der nördlichen Schleusenhälfte gepumpt und man fand hier das Mauerwerk beträchtlich beschädigt. Die Seitenmauern und die oberen Theile des Innern waren zwar unversehrt, aber ein Theil des Bodens unmittelbar hinter den Spülkanälen war in grosser Ausdehnung aufgerissen, und Beton und Pfähle lagen auf verschiedenen Stellen bloss. Von dem zerstörten Mauerwerk wurde nichts in den Kammern gefunden, alles war vom Wasser hinausgerissen; nur ein grosses Werkstück hatte sich in einem der Spülkanäle festgeklemmt, zum Glück ohne das Niederlassen des Schützes zu verhindern. Die folgende Untersuchung des zu den südlichen Schleusen führenden Kanales zeigte ähnliche, obgleich weniger umfangreiche Schäden.

Während der Spülungen war der Aufruhr des Wassers im Tidehafen so gross, dass kein Fahrzeug darin gelassen werden durfte. Aus den Schleusen stürzte das Wasser wie ein reissender Strom von weissem Schaum, durch den man bisweilen das Sturzbett hervorschimmern sah. Im Tidehafen schlängelte es sich in langen Windungen von einer Seite zur andern und während es im Stromstrich mit einer Geschwindigkeit von 3,58 m in der Sekunde und mehr dahinschoss, waren seine Bewegungen in den übrigen Theilen des Hafens langsam und unregelmässig in verschiedenen Richtungen. In einer Entfernung von 45 m von den Schleusen sah man eine quergerichtete Erhöhung des Wassers von 0,3 bis 0,45 m, die sich mit flacher Neigung nach der entgegengesetzten Seite abdachte. Bei der Druckhöhe des Wassers von 7,43 m berechnete man bei vollständig geöffneten Schleusen die Geschwindigkeit des Wassers zu 8,94 m in den 9 m weiten Kammern, zu 9,75 m in den Spülschleusen und zu 2,24 m in der Sekunde an der engsten Stelle des Tidehafens. Im great float bildete sich beim Schliessen der Schützen eine Welle von 0,3 m bis 0,4 m Höhe, die, die ganze Länge des Beckens von etwa 3 km wiederholt hin und her durcheilend, immer niedriger wurde und

erst nach einer Stunde völlig verschwand. Dadurch wurde es schwierig, die Höhe des Wasserstandes im Becken genau zu ermitteln.

Die Wirkung der Spülung im Tidehafen wird als leidlich gleichmässig geschildert. In dem Querprofil 412 m von den Schleusen betrug der Unterschied zwischen der grössten und der geringsten Tiefe nur 0,28 m; in den Querprofilen 351 und 290 m von den Schleusen 0,51 m, bei 229 m von den Schleusen 0,61 m und dann bis zum Kolk vor dem Sturzbett weiter wachsend. Ueber die Form des Längenprofils werden keine Angaben gemacht.

Obgleich die zunehmenden Tiefen im Tidehafen bewiesen, dass seine Aufschlickung durch die Spülungen verhindert werden konnte, gelangte man doch zu der Ueberzeugung, dass es nicht rathsam sei, sie fortzusetzen. Sie beeinträchtigten nicht nur die ungestörte Benutzung des Docks und des Tidehafens in hohem Grade, sondern sie waren auch mit einer erheblichen Gefahr verbunden. Das schnelle Sinken des Wasserspiegels im great float erregte ernstliche Bedenken und die Räumung des Tidehafens von Schiffen, die vor jeder Spülung nothwendig war, verursachte bisweilen Zeitverlust. Die Beschädigungen der Kammern zeigten ein gefahrdrohendes Bestreben des Wassers zur Zerstörung der Fundamente, was am Ende die Vereinigung des Oberwassers mit dem Unterwasser, und damit den vollständigen Ruin des Bauwerkes hätte bewirken können. Das Wegreissen der Thore vor den Kammern war eine Andeutung der unermesslichen Gewalt der entfesselten Kräfte, und die Betheiligten ahnten ein grosses und plötzliches Unglück, das, unvorhergesehen und unerwartet, in irgend einem Augenblick hereinzubrechen drohte.

Aus diesen Gründen entschloss sich der Mersey Docks and Harbour Board nach gründlichen Erwägungen und nach langen Berathungen mit Eisenbahngesellschaften und solchen öffentlichen Körperschaften, die ein Interesse an der Wohlfahrt Birkenhead's hatten, die Genehmigung des Parlaments zur Beseitigung des Tidehafens und seiner Spülung nachzusuchen.

Das Parlament ertheilte seine Genehmigung im Jahre 1866 und die Umwandlung des Tidehafens in ein Dock wurde einige Jahre später ins Werk gesetzt.

Die Baukosten des Tidehafens mit den Spüleinrichtungen, der Schiffsschleuse und einer grossen Landungsbrücke hatten 9,4 Millionen Mark betragen. Der Umbau wurde auf 2,4 Millionen Mark veranschlagt.

Um die Ergebnisse der Spülungen etwas näher betrachten zu können, mögen zunächst einige Angaben, die über sechs Spültage im August gemacht werden, ihrem wesentlichen Inhalte nach hier folgen:

August 1864	16.	17.	18.	19.	20.	22.
Spülungsdauer	14 Min.	22 Min.	30 Min.	27 Min.	24 Min.	20 Min.
Wasserstand im great float beim Oeffnen der Schleusen über Niedrigwasser Springtide	7,55 m	8,01 m	8,31 m	8,24 m	8,24 m	7,80 m
do. beim Schliessen	6,66 m	6,71 m	6,71 m	6,71 m	6,69 m	6,63 m
Abgelaufene Wasserschicht	0,89 m	1,30 m	1,60 m	1,53 m	1,55 m	1,17 m
Abgelaufene Wassermenge cbm	495 510	722 020	891 920	849 460	863 600	651 240
Wasserstand im Tidehafen über Niedrigwasser Springtide beim Oeffnen der Schleusen	0,38 m	0,08 m	0,08 m	0,08 m	0,23 m	0,84 m
Mittlere Druckhöhe	6,72 m	7,28 m	7.43 m	7,40 m	7,23 m	6,38 m

Bemerkung: Der Unterschied im Wasserstand des Tidehafens zwischen dem Oeffnen und dem Schliessen der Schleusen war kaum merkbar und die Absicht, ihn zu messen, wurde nach den ersten wenigen Versuchen aufgegeben.

Die auf das Oeffnen und Schliessen der Schütze verwendete Zeit ist, wie oben angeführt, der Spüldauer zugerechnet und man müsste deshalb dafür den Mittelwerth von sieben Minuten in Abzug bringen. Man erhält dadurch aber Abflussmengen, die für die einzelnen Tage zwischen 39 000 und 71 000 cbm in der Minute schwanken, wobei noch die höchste Zahl auf den Tag mit der geringsten Druckhöhe fällt. Solche Unterschiede sind doch unglaublich und es ist deshalb der Abzug nicht gemacht worden, was die Grenzwerthe auf 30 000 und 36 000 cbm in der Minute beschränkt. Von den sechs Tagen ist dann der 18. August, der die längste Spüldauer mit der geringsten Wassermenge in der Zeiteinheit hat, ausgesucht und es wird sich zeigen, dass auch dieser noch sehr hohe Werthe liefert.

Am 18. August flossen 891 920 cbm in 30 Minuten ab, woraus eine Geschwindigkeit des Wassers von $\frac{891\,920}{30 \cdot 60 \cdot 76{,}8} = 6{,}45$ m in einer Sekunde folgt. Theoretisch findet man dafür $0{,}67 \sqrt{7{,}43 \cdot 19{,}62} = 8{,}09$ m in der Sekunde, wobei es freilich fraglich bleibt, ob diese Formel für die von der gewöhnlichen so sehr abweichende Gestalt der Spülöffnungen mit Recht angewendet werden darf.

Die Tiefe im Tidehafen betrug an diesem Tage 3,38 m, sein Querschnitt demnach vor den Schleusen $116 \cdot 3{,}38 = 392$ qm und an der Mündung $92 \cdot 3{,}38 = 311$ qm, wonach die mittlere Geschwindigkeit

des Wassers im Tidehafen $\frac{495,5}{392} = 1,26$ m bis $\frac{495,5}{311} = 1,60$ m in einer Sekunde betragen hat. Diese Zahlen dürfen wohl als Minimalwerthe betrachtet werden und nach den oben angeführten Angaben müssen die Geschwindigkeiten im Stromstrich jedenfalls sehr viel grösser und an anderen Stellen entsprechend kleiner gewesen sein.

Da der Grund im Tidehafen als Schlamm und weiche Ablagerung (mud and soft deposit) bis zu beträchtlicher Tiefe bezeichnet wird, so muss man über die geringe Wirkung der mächtigen Spülung erstaunen, denn in Cuxhaven genügte bei einer ähnlichen Bodenbeschaffenheit eine mittlere Geschwindigkeit von 0,71 m in der Sekunde zur Vertiefung des Hafens. Es wird jedoch eine Thatsache angeführt, die zur Aufklärung dieses überraschenden Unterschiedes dienen kann. An einer Stelle des Tidehafens — Zeit und Ort sind nicht näher bezeichnet — wurden nämlich während der Spülung folgende Geschwindigkeiten gemessen:

an der Oberfläche . . . . . 1,674 m in 1 Sek. ($3^1/_4$ Knoten),
1,52 m über dem Grund . . . . . 0,515 „ „ „ (1 Knoten),
0,23 „ „ „ „ . . . . . 0,258 „ „ „ ($^1/_2$ Knoten),

wonach die Geschwindigkeit auf der Hafensohle nicht mehr als ein Sechstel bis ein Siebentel der Geschwindigkeit an der Oberfläche betragen hat. Daraus muss man schliessen, dass die Wirkung der Spülung nur durch die grosse Hafentiefe in so hohem Grade herabgemindert worden ist.

Dabei darf besonders hervorgehoben werden, dass dieses Ergebniss von praktischen Männern vorhergesagt wurde.

Das Parlaments-Comité, das ein Urtheil über die Zweckmässigkeit der Spülung vor ihrer Ausführung abgeben sollte, fragte unter Anderen den Kapitain Maughan um seine Meinung. Kapitain Maughan behauptete, dass es bei einer Wassertiefe von 3,6 m ein Ding wie Spülen nicht gäbe. Er habe es in Shadwell und in Cardiff versucht, habe es aber bei Tiefen über 2,4 m unmöglich befunden. „In Cardiff“, sagte er, „hatten wir 6,6 qm Spülöffnungen und 8,5 m Wasserdruck. Der Vorhafen, der gespült werden sollte, lag bei Niedrigwasser trocken, aber die Wirkung der Spülung war sehr unvollkommen: die Mauern des Hafenkopfes wurden unterwaschen und eine Rinne wurde in der Mitte ausgehöhlt, dagegen musste der Schlamm an den Seiten durch Handarbeit beseitigt werden. In Shadwell konnten wir mit Spülöffnungen von 4,6 qm und einem Wasserdruck von 7 oder 7,3 m bei einer Tiefe von 1,8 m oder weniger allen Schlamm und Schlick aus der 91 m langen und 14 m weiten Einfahrt in die Themse spülen, aber die Erfahrung hatte uns gelehrt, dass es eine nutzlose Wasserverschwendung sei, bei 2,4 m Tiefe zu spülen und wir thaten es nie.“

Der Ingenieur G. Rennie und andere Ingenieure sprachen sich in ähnlichem Sinne aus.

In der Besprechung, die sich an Herrn Ellacott's Vortrag schloss, traten auch warme Vertheidiger Rendel's auf und sagten, es sei nicht das ausgeführt, was er beabsichtigt habe. Er habe die Spülöffnungen in die Höhe der Hafensohle legen und über die ganze Hafenbreite vertheilen wollen, um dadurch auf der Hafensohle eine schwache Spülung erzeugen zu können, die aber hingereicht haben würde, um den Hafen tief zu erhalten. Statt dessen habe man die Spülöffnungen durch die Schiffsschleuse getheilt und mit ungeheuren Wassermassen gespült, wodurch die geschilderten Uebelstände herbeigeführt worden seien.

Die thatsächlich auf dem Boden erzeugte Geschwindigkeit ist jedoch viel geringer gewesen, als Rendel sie hatte haben wollen, und die von ihm erhoffte, gleichsam unterirdische Strömung, die sich unter dem oberen Wasser bewegen sollte, ist überhaupt nicht eingetreten und hätte auch vernünftiger Weise nicht erwartet werden dürfen. Die Schleusen hätten deshalb, unbeschadet ihrer Wirkung, sehr viel höher gelegt werden können.

Es ist schwer, sich in das Jahr 1844 zurück zu versetzen. Da aber angeführt wird, dass die Aufschlickung im Tidehafen vom November 1864 bis November 1867 nur 2,95 m betragen habe, so hätte man den Hafen mit einer jährlichen Baggerung von 53 000 cbm reinhalten können, und zu diesem billigen Mittel würde heutigen Tages Jedermann ohne Bedenken gegriffen haben, denn durch Spülung eine ebene Hafensohle, wie die Schiffe sie nöthig haben, zu erzeugen oder zu unterhalten, wird wohl ewig ein frommer Wunsch bleiben. —

Nieuwediep.

Der Hafen von Nieuwediep wird nicht durch künstlich aufgestautes Wasser, wie die bisher erwähnten Häfen, gespült, sondern natürliche Wassermassen werden auf eine geniale, in ihrer Art einzig dastehende Weise zu seiner Spülung herangezogen. Er hat dadurch schon seit langer Zeit die Aufmerksamkeit der Hydrotekten erregt, und Woltman, Hagen und Dalmann haben nacheinander seine eigenthümliche Anlage und merkwürdige Herstellungsart beschrieben. Um so weniger kann er hier, wo es sich vorzugsweise um Spülungen handelt, übergangen werden.

Die Veranlassung zur Entstehung des Hafens gab die Stadt Amsterdam.

Amsterdam liegt am Y, einem Meeresarm, der in die Zuidersee mündet. Die Tiefen dieses Armes sind vor der Stadt bedeutend, nehmen aber gegen die Mündung hin ab, und am Vereinigungspunkte des Y mit der Zuidersee lagern ausgedehnte Sandbänke, die Pampus,

auf denen ungefähr nur 3 m Wasser gefunden werden. Um die grossen Kriegs- und Handelsschiffe über diese Untiefen zu bringen, wurden sie mit grossen, eigenthümlich geformten Prähmen, Kamele genannt, gehoben und dann weitergeschleppt. Da Woltman den Tiefgang der damaligen Kriegsschiffe zu 7.2 bis 7,5 m („25 bis 26 Fuss") und den der Handelsschiffe zu 4,0 bis 5,7 m („14 bis 20 Fuss") angiebt, so war diese Art der Hebung für die Schiffe eine etwas gewaltsame Festigkeitsprobe und ausserdem kostspielig und zeitraubend. Namentlich der beim Auslaufen von Kriegsflotten damit verbundene Zeitverlust bewog die holländische Regierung im Jahre 1780 eine Commission einzusetzen, die über die Anlage eines Kriegshafens beim Helder Vorschläge machen sollte.

Der Helder (siehe Abb. 9) liegt auf der Spitze Nordhollands am Marsdiep, einem tiefen Meeresarm, der sich zwischen dem Festlande und der Insel Texel hinzieht und am Helderdeich steil bis zur Tiefe von 30 m abfällt. Oestlich vom Helder liegen grosse Wattflächen, die nach dem Marsdiep abwässern und neben dem Helder einen Priel von 3,7 m Tiefe gebildet hatten.

Die Commission beschloss, diesen Priel zu vertiefen und dadurch zu einem, für Kriegsschiffe brauchbaren Hafen umzuformen, ein Plan, der genehmigt wurde, und mit dessen Ausführung man im Jahre 1782 begann.

Es wurde nun, dem Vorschlage der Commission folgend, in einer Entfernung von 140 m von dem künftigen westlichen Hafenufer ein 1130 m langer Leitdamm auf dem Watt erbaut, der, die allgemeine Richtung des Ufers einhaltend, auf der nördlichen Hälfte die Richtung Nordost und auf der südlichen Hälfte die Richtung Südsüdost erhielt. An das südliche Ende dieses Leitdamms schloss sich der „Fangdamm", dem vorläufig die Länge von 2260 m gegeben wurde. Dieser Damm bezweckte, das Wasser, das bis dahin auf geradem Wege dem Marsdiep zugeflossen war, dem neuen Hafen zuzuführen, und seine Wirkung war so vorzüglich, dass die mittlere Tiefe des neuen Hafens sich bereits im Jahre 1784 um 0,9 m vermehrt hatte, also auf 4,6 m gewachsen war. Nach Woltman's Angabe waren dadurch fast 150 000 cbm ins Meer gespült worden, wobei man nur wenig durch Baggerei und Kratzen nachgeholfen hatte. Das Kratzen bewerkstelligte man durch ein harkenartiges Geräth, das an einem Fahrzeuge befestigt und durch ein unter Wasser angebrachtes Segel von der Strömung fortbewegt wurde.

Da man mit der gewonnenen Tiefe noch nicht zufrieden sein konnte, verlängerte man den Fangdamm ungefähr um die Hälfte seiner Länge, wodurch er auf 3375 m wuchs; der äusserste Theil erhielt auf 375 m die Richtung Südost, während der übrige Theil fast genau die Richtung Ost einhielt. Den Leitdamm verlängerte

man parallel mit dem Hafenufer in der Richtung Südost um 900 m, und erreichte damit eine Hafenlänge von 2000 m.

Die Wirkungen der Verlängerung des Fangdammes müssen sehr befriedigend gewesen sein, denn schon im Jahre 1790 entschloss man sich, mit der Anlage des künftigen Kriegshafens Wilhelmsoord zu beginnen, und in den Jahren 1819 bis 1825 wurde der Nordholländische Kanal (damals „der grosse“ genannt) erbaut, der für Schiffe bis zu $5^1/_2$ m Tiefgang eine jederzeit brauchbare Verbindung zwischen Amsterdam und dem Meere eröffnete.

Im Jahre 1829 wurde der Leitdamm bis 2,3 m über Hochwasser erhöht, um den Hafen bei nordöstlichen und östlichen Winden vollständiger gegen den Seegang zu schützen. Der Fangdamm wurde um die Mitte der Vierziger Jahre auf 0,3 m über Hochwasser erhöht, weil durch seine allmählige Senkung bis 0,1 und 0,2 m unter Hochwasser die den Hafen durchströmende Wassermenge sich vermindert hatte und einige untiefe Stellen entstanden waren.

Die Hafentiefen, wie Hagen sie in seiner „Wasserbaukunst“ 1864 anführt (siehe Abb. 10), betragen in der Tiefenrinne im allgemeinen etwa 10 m und, wie es scheint, an der flachsten Stelle noch 8,2 m, und es ist erklärlich, dass die rechtzeitige Sicherung der Hafenufer bei den grossen Tiefen, die an einer Stelle 24 m erreichten, oft Schwierigkeiten bereitete. Noch im Jahre 1861 stürzten Theile der Hafeneinfassung ein und es ist wahrscheinlich, dass ähnliche Unfälle in früheren Jahren den Werth des Hafens in den Augen des Publikums herabsetzten, wie eine auffallende Aeusserung in Hagen's erster Hafenbeschreibung („Neuere Wasserbauwerke“ 1826) anzudeuten scheint. Er sagt dort nämlich: Der Fangdamm „bildet die berüchtigte Coupirung der Rinnen im Watte, wodurch zur Zeit der Ebbe ein heftiger Strom im Hafen selbst erzeugt, und dieser dadurch vertieft wird“. Aus dem Worte „berüchtigt“ an dieser Stelle darf man schliessen, dass es lange währte, bis die vortreffliche Anlage allgemeine Anerkennung fand; ein Schicksal, das ähnliche Werke nicht selten zu erdulden haben.

Um das Gelingen des Entwurfes der Commission von 1780 erklären zu können, müssen die Fluthverhältnisse der Gegend näher in's Auge gefasst werden.

Die mittlere Fluthgrösse beim Helder beträgt nur 1,16 m und nimmt am offenen Meere sowohl nach Süden wie nach Norden zu. Vom Marsdiep nimmt sie in der Richtung nach der Zuidersee und in dieser selbst fortwährend ab, und in Amsterdam ist sie bis auf 0,36 m gesunken. Die Eintrittszeiten des Hochwassers verspäten sich an der ganzen holländischen Küste von Süden nach Norden und nach ihnen zu urtheilen, scheint der Gipfel der Fluthwelle mit einer mittleren Geschwindigkeit von 5 m in einer Sekunde fortzuschreiten.

Vom Marsdiep bis Amsterdam setzt sich die Verspätung der Hochwasserzeit fort, ungefähr einer Geschwindigkeit von 3 m in einer Sekunde entsprechend.

Die geringe Fluthgrösse liess an und für sich durch den Fangdamm keine grosse Wasserzunahme für den projectirten Hafen erwarten, denn da nach Woltman's Angabe das Watt östlich vom Helder nur 0,6 m bis 1,3 m hoch vom Wasser bedeckt wurde, so hätte leicht durch eine im Schutze des Fangdammes erfolgende Aufschlickung der Gewinn an Wasser vollständig verloren gehen können. Dem wirkten aber in der günstigsten Weise die verschiedenen Eintrittszeiten des Hochwassers entgegen. Hochwasser war beim Helder bereits eingetreten, während es östlich davon noch überall fluthete, und wenn auch hier die Ebbe begann, war das Wasser beim Helder bereits gefallen und nirgends war infolge dessen das Gefälle stärker als nach dem Helder hin, wodurch das Wasser gezwungen wurde, theils auf dem geraden Wege, theils auf dem Umwege längs des Fangdammes nach dem Nieuwediep abzufliessen. Welche Länge dem Damm gegeben werden musste, um die verlangte Tiefe im Hafen zu schaffen, das liess sich von vorneherein nicht sagen und die Commission hatte sich deshalb wohlweislich eine Verlängerung des Dammes vorbehalten.

Diese eigenthümlichen Zustände, die sich kaum irgendwo auf der Erde wiederholen werden, waren der Commission von 1780 ohne Zweifel bekannt und man kann ihr für die einfache und zweckmässige Verwendung der vorhandenen Naturkräfte nur die höchste Anerkennung zollen. In dem Hafen von 1400 qm Querschnitt hat sie sich ein Denkmal gesetzt, das dauern wird, so lange nicht unvorgesehene Ereignisse eine Aenderung der geschilderten Verhältnisse herbeiführen.

Die Gunst der Umstände für den Hafen wird, wie Dalmann hervorhebt, durch seine Lage zu den Himmelsrichtungen vergrössert Gegen die Stürme aus den herrschenden Richtungen, Südwest bis Nordwest, ist er durch die Richtung seiner Mündung am Marsdiep gedeckt; auch gegen nördliche Stürme durch die nur zwei Seemeilen. entfernte Insel Texel, und es bleiben nur die Ströme aus Nordosten zu fürchten, die jedoch sehr selten sind und deshalb von geringerer Bedeutung. Die entgegengesetzte Mündung wird zwar von östlichen Stürmen getroffen, da diese aber gleichzeitig niedrige Wasserstände bringen, können sie weder auf dem Watt noch im Hafen einen gefährlichen Seegang erzeugen und sind deshalb unschädlich.

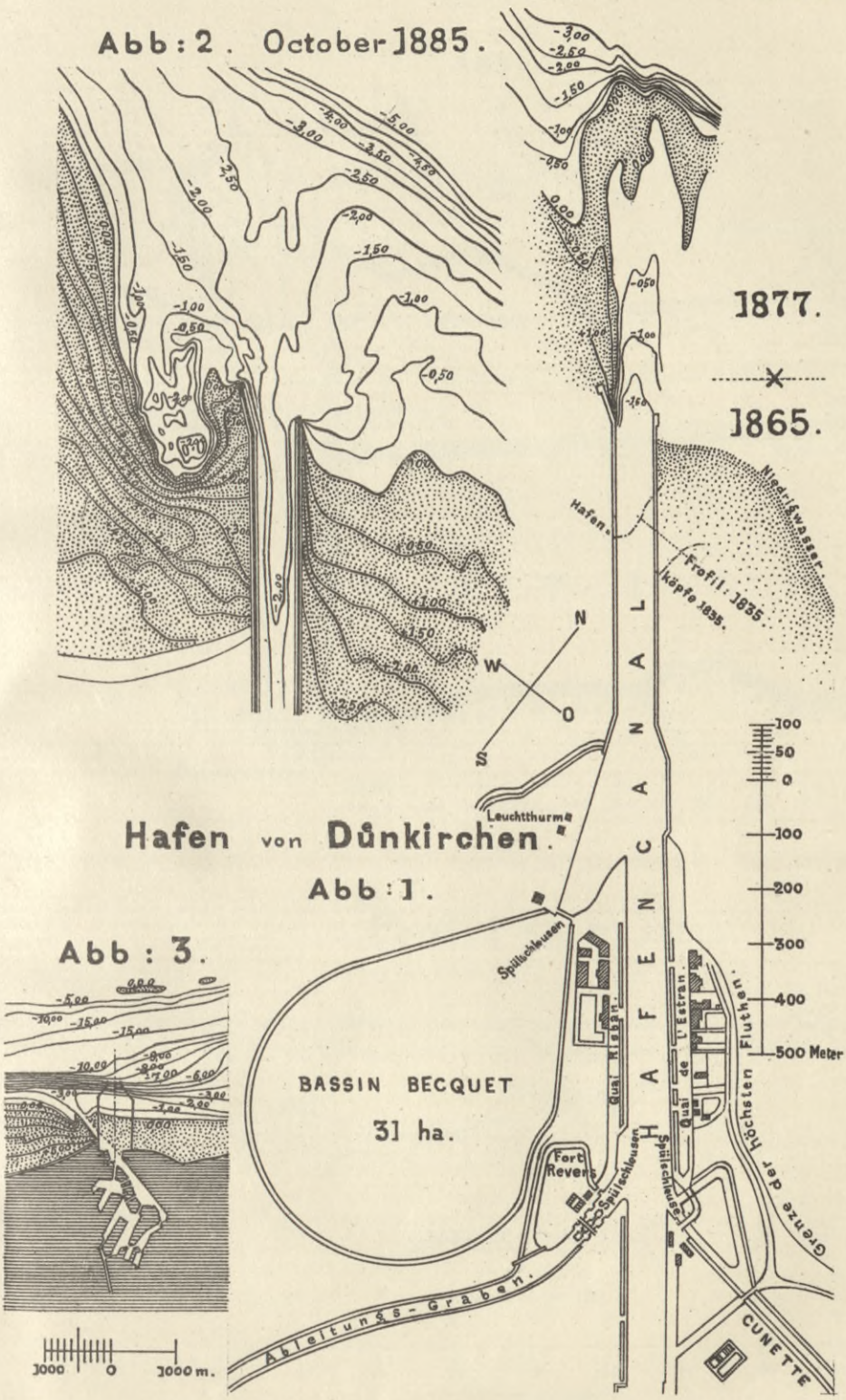
Cuxhaven, am 18. Dezember 1901.

Hugo Lentz.

Häfen mit künstlicher Spülung

Dünkirchen

Bl. I

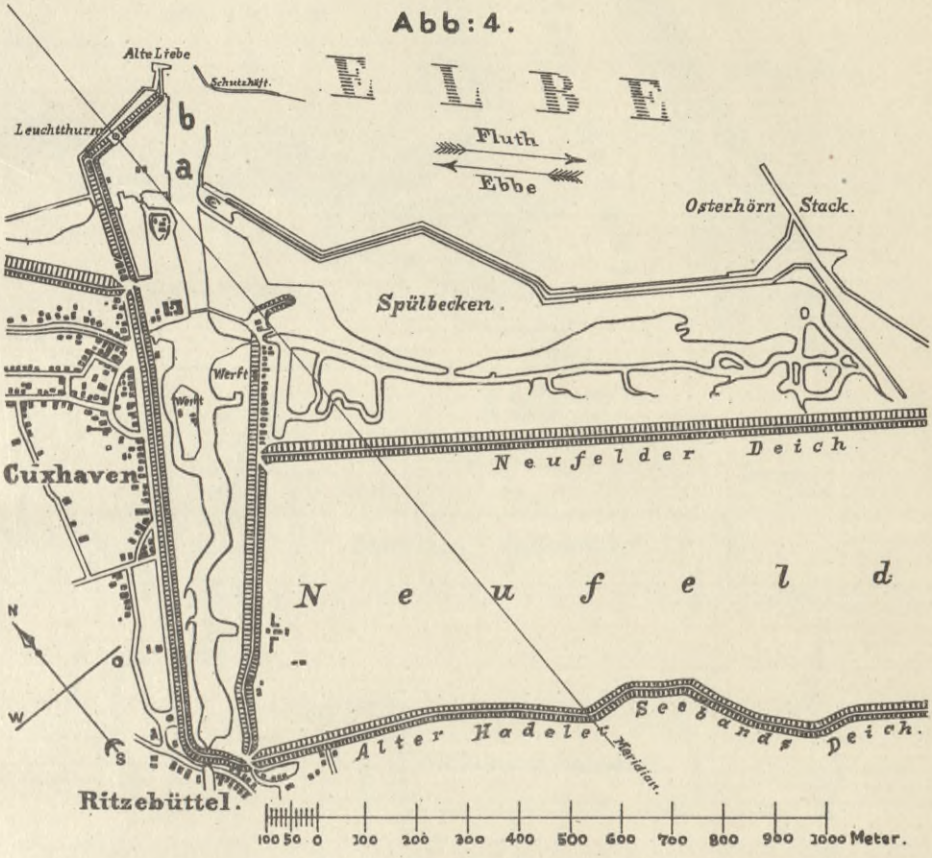


Häfen mit künstlicher Spülung

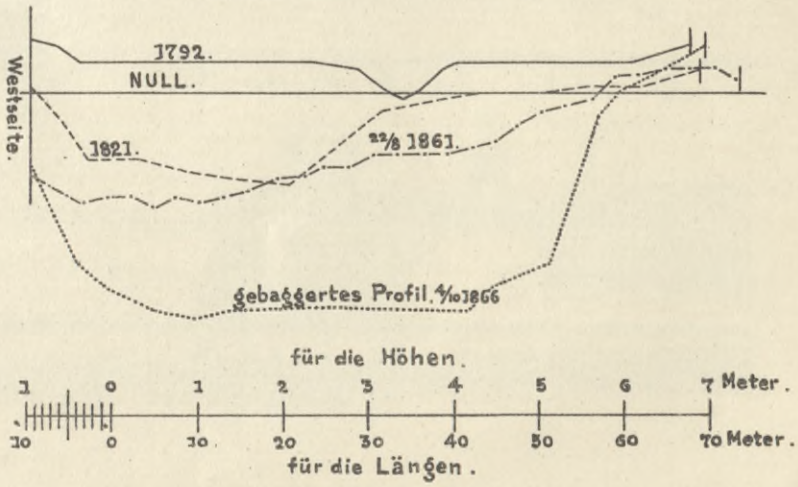
Cuxhaven

Bl. II

Abb: 4.



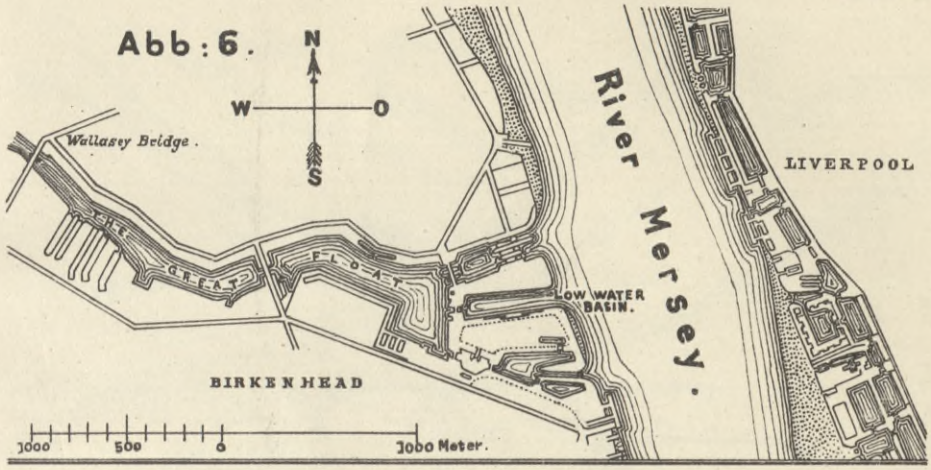
Profil bei b. Abb: 5.

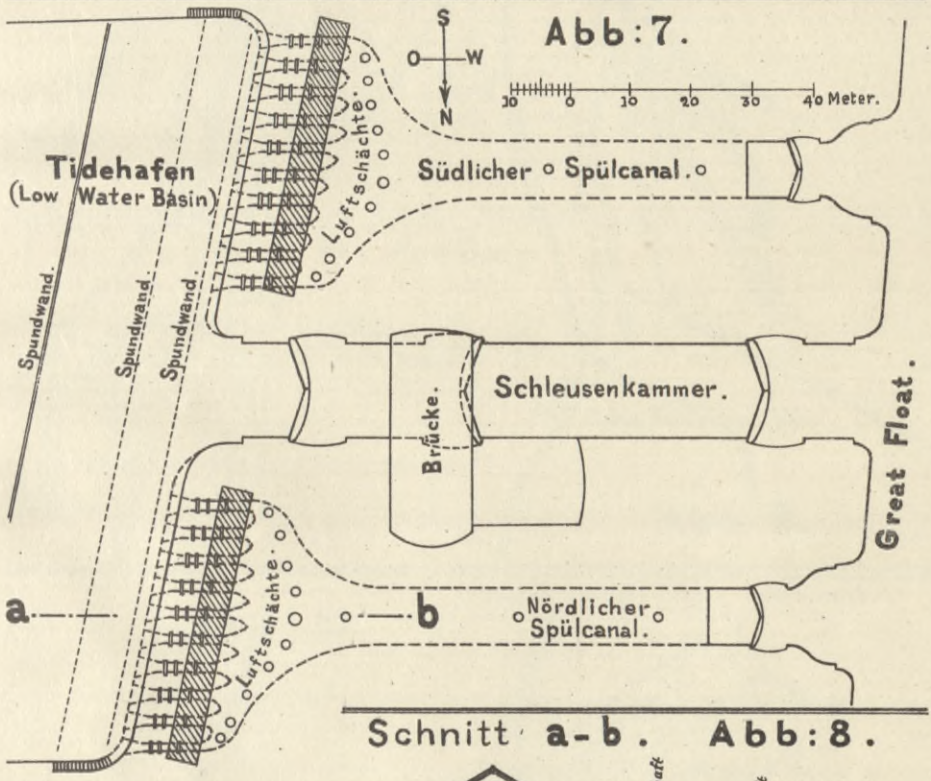


Häfen mit künstlicher Spülung

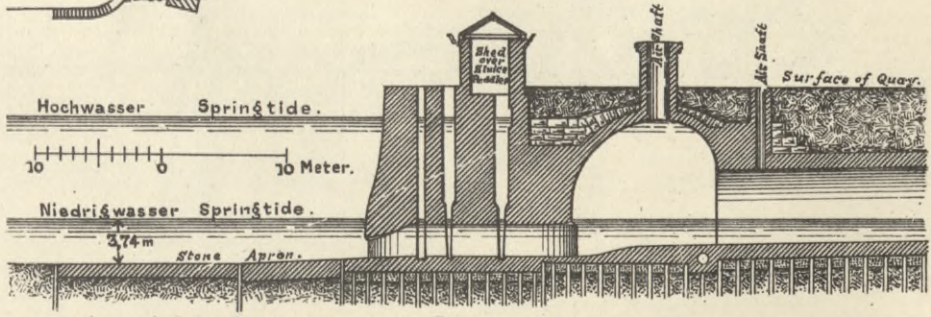
Birkenhead

Bl. III





Schnitt a-b. Abb: 8.



Häfen mit künstlicher Spülung

Nieuwediep

Bl. IV

Texel.

Het Marsdiep.

Nieuwediep

Fangdamm.

Helder

Eisenbahn.

Nordholländischer Canal.

Schulpe Gat.

Het Koe Gras.

1000 0 1000 2000
Meter.

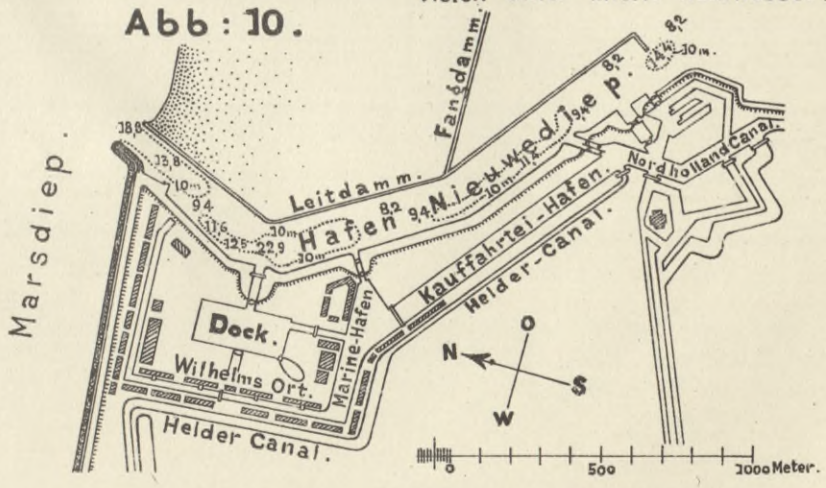
N
W O
S

Anna Paulowna Polder.

Abb: 9.

Tiefen unter mittl: Hochwasser.

Abb: 10.



10.00