



Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000300968

STUDIEN

ÜBER DIE

GESTALTUNG DER SANDKÜSTEN

UND DIE

ANLAGE VON SEEHÄFEN IM SANDGEBIET

VON

H. KELLER

SEPARAT-ABDRUCK AUS DER ZEITSCHRIFT FÜR BAUWESEN

JAHRGANG XXXI

F. Nr. 20929



BERLIN 1881

VERLAG VON ERNST & KORN

(GROPIUS'SCHE BUCH- UND KUNSTHANDLUNG).

749

14

X
2468

STUDIEN

1832

ANLAGE ZUR SANDGEBIRGE

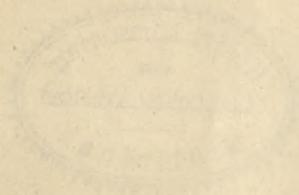


ANLAGE ZUR SANDGEBIRGE

H. KELLER

SEPARAT-ABDRUCK AUS DER ZEITSCHRIFT DER POLYTECHNISCHEN

ZEITSCHRIFT



BERLIN 1881

VERLAG VON ERNST & KORN

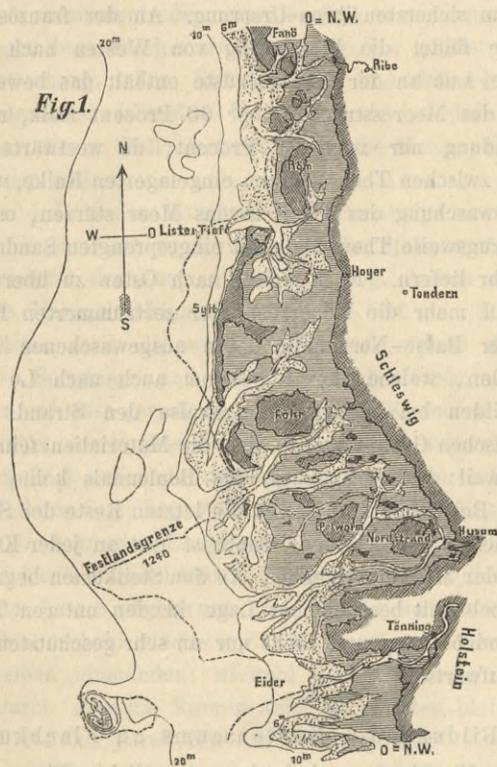
(GRÖßERE ZIELE BEI DER KUNSTANWENDUNG)

I. Die Gestaltung der Sandküsten.

1. Capitel. Die Bildung der Sandküsten im Allgemeinen.

§. 1. Allgemeine Umgestaltungen der Küsten.

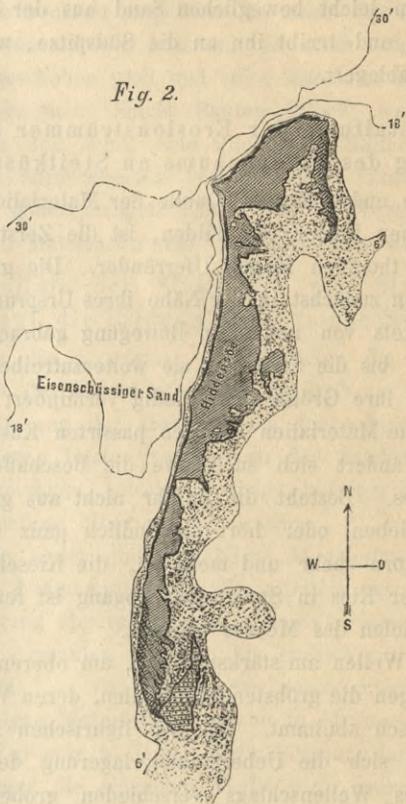
Die Küsten des Meeres sind in beständiger Umbildung begriffen. Wellen und Strömungen nagen an den Ufern, unterwaschen die steilen Hänge, lösen gewaltige Felsmassen ab und führen die Trümmer derselben an geschützte Stellen, wo sie neue Verlandungen erzeugen. Quellen und Tagewässer des Binnenlandes unterstützen die Erosivwirkung des Meeres; und die Naturkräfte, welche auf der festen Erdrinde in langsamer Arbeit die Gebirge verflachen und die Ebenen gestalten, stehen dem Angriff des Meeres gegen den Küsten-saum erfolgreich bei.



Die Trümmer der Steilküsten bleiben nicht unverändert an Ort und Stelle. Stets erneute Wellenschläge vermindern ihre Größe; sie sinken allmähig auf dem Uferhange hinab in die Tiefe, oder die Strömung führt sie auf demselben weiter. So ist das Festland umsäumt mit einem beweglichen Gürtel gröberer und feinerer Geschiebe. Nur wo steile Felsenwände in bedeutende Tiefen hinabtauchen, fehlt der Wanderstrand. Je widerstandsfähiger die Materialien, aus welchen die Küste gebildet ist, und je schwächer die Angriffe sind, welche Wind und Wellen auf sie ausüben, um so langsamer erfolgt die Zerstörung. Der geologische Bau und die Orientirung des Ufersaums sind in erster Linie hierauf von Einfluss.

Die weitaus häufigste Erscheinung, so häufig, daß manche sie als allgemeines Gesetz erklären,¹⁾ wird durch die Worte charakterisirt: die Vorsprünge weichen zurück, die Buchten füllen sich aus. Das Meer ist bestrebt, seinen Saum auf weite Längen hin geradlinig zu begrenzen oder doch in flachen Curven abzurunden. Da aber die Bodenarten und Gesteine des Ufers von verschiedener Härte sind, so erleidet jene Regel vielfache Ausnahmen, während andererseits das örtliche Auftreten des Wellenschlags und der Strömungen öfters Abweichungen veranlaßt. So bietet die Westküste der Bretagne ein Beispiel der durch den geologischen Bau verursachten Zerklüftung eines früher abge-

Fig. 2.



rundeten Ufers. Dort ist in dem breiten, aus Uebergangsgebirge bestehenden Streifen, welcher zwischen den granitischen Ketten der Nord- und Südküste eingelagert sich findet, die geräumige Bai von Douarnenez und die beste Rhede des Continents, an welcher der Kriegshafen Brest liegt, von dem aus hoher See anprallenden Wellenschlage ausgewaschen. Ein Blick auf das Kärtchen (Fig. 1) der den heftigen Weststürmen ausgesetzten nordfriesischen Küste, in welchem der Zustand von 1240 nach Dankwerths Chronik durch die punktirte Linie angedeutet ist, beweist, mit welcher Gewalt ungünstiges Zusammenwirken von Wellen und Strömungen

1) Amédée Burat, Voyages sur les côtes de France. p. 12.

ein vormals glattes Ufer zu zerstören vermag. In derselben Weise zeigt sich oft genug, daß Vorsprünge vor dem Ufer ständig weiter wachsen, z. B. die Spitze von Dungeness,¹⁾ welche in 52 Jahren um 90 Yards vorgewandert ist, ebenso Darsserort an der neuvorpommerschen Küste,²⁾ wo die abwechselnd aus Südwesten und aus Osten kommenden Strömungen ein streifenweises Verschieben des Ufers veranlassen, ähnlich wie ein Baum seine Jahresringe bildet.

Richtiger erscheint es daher, jenes allgemeine Gesetz folgendermaßen zu fassen: Wo der Angriff stark oder die Widerstandsfähigkeit schwach ist, bricht die Küste ab; wo die Strömungen günstig oder die Wellen machtlos sind, wandert die Küste vor. Am häufigsten ist jenes bei Ufervorsprüngen, dieses bei Buchten der Fall. Daß jedoch auch umgekehrt eine Bucht in der Rückwanderung und eine unmittelbar daneben liegende Uferspitze in der Vorwanderung begriffen sein kann, dafür liefert die Insel Hiddensöe bei Rügen ein treffendes Beispiel. In Fig. 2 sind die im Abnehmen befindlichen Theile der westlichen Küste mit starken Strichen, die im Zunehmen befindlichen Theile dagegen mit Schraffirung bezeichnet. Der vorherrschende Nordwestwind nagt den leicht beweglichen Sand aus der westwärts offenen Bucht und treibt ihn an die Südspitze, wo er sich streifenweise ablagert.

§. 2. Umgestaltung der Erosionstrümmer in Sand. Bildung des Küstensaums an Steilküsten.

Die erste und wichtigste Quelle der Materialien, welche den beweglichen Küstensaum bilden, ist die Zerstörung der felsigen und thonigen steilen Uferländer. Die groben Geschiebe bleiben zunächst in der Nähe ihres Ursprungs, durch die Wellen stets von neuem in Bewegung gebracht und so lange benagt, bis die Strömung sie weiterzutreiben vermag. Da unterwegs ihre Größe sich ständig vermindert, andererseits aber neue Materialien von den passirten Küsten hinzukommen, so ändert sich successive die Beschaffenheit des Strömungsgutes. Besteht die Zufuhr nicht aus groben und harten Geschieben oder hört sie endlich ganz auf, dann nimmt das Korn mehr und mehr ab, die Kiesel gehen in Kies über, der Kies in Sand. Der Abgang ist feiner Staub, der in die Tiefen des Meeres versinkt.

Wo die Wellen am stärksten sind, am oberen Ende des Strandes, liegen die größten Materialien, deren Volum nach unten zu rasch abnimmt. An der ligurischen Riviera di Ponente läßt sich die Uebereinanderlagerung der je nach Stofskraft des Wellenschlags verschieden groben Strandgeschiebe von centnerschweren Felsblöcken bis zum feinen Sand verfolgen, dessen Vorhandensein sich übrigens auch dem flüchtigen Blick rasch verräth, da bedeutende Massen durch die Sturzwellen zwischen die obersten Steinblöcke und darüber hinaus geschleudert werden.³⁾ „Auf dem Theile des Strandes, welcher der Brandung ausgesetzt ist, wandern alle Materialien, Grand, Kiesel, Felsgerölle, da sie unaufhörlich bald von den schräg gerichteten Wellen aufgehoben und vorwärts gestofsen werden, bald in Richtung des größten Gefälles durch ihre eigene Schwere herabgleiten, im Zickzack längs der Küste, je nach dem Wind vor- oder

rückwärts, im allgemeinen jedenfalls in dem durch die herrschenden Winde vorgeschriebenen Sinne. In größerer Tiefe, wo die Wellen zwar nicht mehr branden, aber doch noch Aufwirbelung des Grundes verursachen, ergreift die Strömung, welche an und für sich zu schwach ist, um die Materialien in Bewegung zu setzen, dieselben, während sie momentan suspendirt sind, und transportirt sie in Richtung der Strömung sprungweise weiter. Diejenigen feinen Körperchen endlich, welche in unruhigem Wasser dauernd suspendirt bleiben, werden von der Strömung continuirlich weitergeführt.“ Beweise für die Existenz der Wanderung der verschiedenen Geschiebe finden sich in allen Buchten und Golfen der Felsküsten; sogar dort, wo mächtige Gebirgsketten im Meere versinken, in unmittelbarer Nähe jener Stellen, an welchen bedeutende Tiefen bis dicht ans Ufer reichen. So lagert sich z. B. bei Nizza, wo die Seealpen, und bei St. Jean de Luz, wo die Pyrenäen in das Meer eintauchen, an geschützten Stellen, je nach den localen Verhältnissen verschieden gemengt, Gerölle, Kies und Sand derart ab, daß die größeren Körper in der Nähe des Ursprungsortes stets den oberen Rand des Strandes bilden, in größerer Entfernung jedoch mehr und mehr verschwinden.

Die mineralogische Untersuchung der Wandergeschiebe verräth am sichersten ihren Ursprung. An der französischen Nordküste findet die Wanderung von Westen nach Osten statt. Bei Luc an der Calvadosküste enthält das bewegliche Material des Meeresstrandes über 60 Procent Kalk, an der Seinemündung nur noch 35 Procent, da westwärts jenes Ortes die zwischen Thonschichten eingelagerten Kalke, welche nach Auswaschung des Thons in das Meer stürzen, ostwärts aber vorzugsweise Thonwände mit eingesprengten Sandnestern die Zufuhr liefern. Noch weiter nach Osten zu überwiegen mehr und mehr die Ueberreste der zertrümmerten Kreidefelsen der Basse-Normandie. Die ausgewaschenen Feuersteinknollen, welche der Ebbestrom auch nach Le Havre führt, bilden bei Dieppe vorzugsweise den Strand. Nach der belgischen Grenze hin werden die Materialien feiner und feiner, weil das Juragebirge des Boulonnais keine Kiesel zuführt. Bei Calais sind selbst die letzten Reste der Silex zu Sandkörnchen abgeschliffen. Sand ist fast an jeder Küste in bedeutender Menge vorhanden. An den Steilküsten begnügt er sich jedoch mit bescheidener Lage in den unteren Theilen der Strandböschung und rückt nur an sehr geschützten Orten weiter aufwärts.

§. 3. Bildung des Küstensaums an Flachküsten.

Die Flachküsten sind das eigentliche Element des Sandes. Wo die Niederungen der Tertiär- und Quaternärperiode bis unmittelbar ans Meer reichen, an der deutschen und russischen Ostseeküste, an dem Continentalrand der Nordsee, an der Landesküste von Gascogne, überall haben sich in moderner Zeit Sandstrände ausgebildet. So ist z. B.¹⁾ das Aestuarium der Aa bei Dunkerque durch die Colmationen des Flusses mit Diluvialgeschieben angefüllt und zu einem Delta umgewandelt worden, dessen seeseitige Grenze so lange sumpfig und unbestimmt blieb, bis Winde, Wellen und Strömungen den jetzigen Strand, dessen Material von den normannischen Falaises jenseits Cap Blanc-Nez herrührt,

1) Report upon the subject of harbours of refuge, p. 3.

2) Hagen, Seebau II, p. 104.

3) Voisin-Bey, Les Ports de Mer, p. 62.

1) Burat, Voyages Cap. I.

gebildet hatten. An den Binnenmeeren ohne merklichen Fluthwechsel ist die Strandentwicklung nicht so bedeutend als an den Küsten im Tidegebiet, wo die Breite, welche bei Ebbe frei wird, oft mehrere Kilometer beträgt, in der Baie de la Cancale z. B. nahezu 20 km, so daß die Fluthwelle mit der Geschwindigkeit eines galoppirenden Pferdes vorstürmt.

So verschieden nun auch je nach Winden, Wellen und Strömungen die Neigungswinkel der Strände sind, so folgen doch alle demselben Bildungsgesetz. Da auf dem Meeresgrund die Wasserelemente bei Wellenerregung nicht ihre elliptischen Schwingungen vollenden können, sondern nur pendelartig in horizontalem Sinne sich bewegen, so tritt durch die Reibung und den Stofs eine Aufwühlung der Sandkörnchen ein. Dieselben werden auf diese Art in die Wellenbewegung mit hineingezogen; bei der größten Geschwindigkeit erhalten sie sich schwebend; zur Zeit der Umkehr der Bewegungsrichtung senken sie sich momentan. Der Seeboden an der Küste ist diesem Vorgange gemäß gestaltet; der flachste Theil, auf welchen der letzte Wellenberg aufläuft, wird als der eigentliche „Strand“ angesehen und hiernach auch benannt. An den Stellen, wo beim Rücklauf die vorderen Wellen mit den nächstfolgenden, im Aufsteigen begriffenen zusammentreffen, wo also jene momentane Senkung des suspendirten Sandes erfolgt, bilden sich „Riffe“ mit steilerer Böschung. Die Riffe steigen und fallen mit dem steigenden und fallenden Wasserspiegel, so daß vorzugsweise an dieser Stelle fortwährend große Mengen Sandes in Bewegung sind.

Da jedoch der Küstenstrom gleichzeitig einwirkt, so kehrt der Sand nie wieder an dieselbe Stelle zurück, sondern schreitet der Küste allmähig entlang. Indem sich hierbei alle Unregelmäßigkeiten ausfüllen, ist der Strand bei Flachküsten meist in schlanken Curven, welche der Richtung des Seeganges und den herrschenden Strömungen entsprechen, oft fast geradlinig ausgebildet. Kleineren Unregelmäßigkeiten des Festlandes, besonders scharf eingeschnittenen Buchten, folgt weder die Strömung, noch der durch Strömung und Wellenschlag hervorgerufene bewegliche Küstensaum, welcher nur in den Hauptzügen der Begrenzungslinie des Meeresspiegels parallel läuft. Häufig werden auf diese Weise Seen vom Meere abgetrennt, welche sich mit süßem Wasser füllen, sobald stärkere Zuflüsse aus dem Binnenlande in dieselben einmünden, wiewohl die Verbindung mit dem Meer durch einzelne Rinnen aufrecht erhalten bleibt. Besonders reichlich entwickelt finden wir derartige Küstenseen an der preussischen Ostseeküste und an der Küste des Languedoc. Die schmalen Landzungen, welche die südfranzösischen Étangs vom Meere trennen, können z. B. als isolirte Uferwälle, die in der beschriebenen Weise entstanden sind, betrachtet werden. Zuweilen wird auch eine bereits vorhandene Reihe von Inseln oder Klippen durch Zwischenlagerung der Wandersände untereinander und mit dem Festlande verbunden. So bildet sich zwischen den Iles d'Hyères bei Toulon ein Uferwall allmähig aus; die dem Continent zunächst liegende Insel Giens ist bereits trockenem Fußes erreichbar. Auch die ostpreussischen Nehrungen, welche an mehreren Stellen diluviale Gebilde zeigen, scheinen in ähnlicher Weise, durch Vereinigung vormaliger Inseln mit dem Festlande aufgebaut zu sein.

Die Geschwindigkeit, mit welcher die Ausbildung der Nehrungen erfolgt, hängt zum großen Theile von der Sandführung des Küstenstromes ab. Doch wäre es unrichtig, aus dem Volum der Anlandungen direct das absolute Maafs der wandernden Geschiebe ableiten zu wollen, weil der größere Theil derselben entweder gar nicht zur Ablagerung gelangt oder sofort wieder weggerissen wird. Ueberhaupt sind die Schätzungen über die Sandmassen, welche von den Küstenströmungen transportirt werden, höchst ungenau und wohl meistens zu gering. Man hatte z. B. früher angenommen, in das Mündungsbecken der Seine würden jährlich etwa 1 bis $1\frac{1}{2}$ Mill. cbm Sand und Schlick eingeführt, während nach den Untersuchungen Éstignards¹⁾ die jährliche Verlandung in den letzten Jahrzehnten 15 bis 20 Mill. cbm betragen hat. Die guten Resultate, welche man bei Dieppe, Fécamp und Le Havre durch Wegbaggerung und Auffangung des hinzuwandernden Kieses außerhalb der Häfen erreichte, ermuthigten sogar dazu, ähnliche Vorschläge für Häfen im Sandgebiet zu machen. Derartige Versuche mußten resultatlos bleiben, weil der breite Küstensaum, den die beweglichen Sände bilden, ein unermessliches, von den Ufern her ohne Unterbrechung gespeistes Reservoir für die Verlandungen ist, während der Kies nur in einer schmalen Zone vorwärts geschoben wird und seine absoluten Mengen erheblich kleinere sind. Solche Bauten jedoch, welche das Ufer zu decken und somit eine Quelle der Zufuhr den Küstengeschieben abzuschneiden bestimmt sind, werden stets von günstigem, doch geringem Einfluß auf die Verminderung der wandernden Materialien und die Tiefhaltung der Häfen sein.

§. 4. Einfluß der Sinkstoffe aus Binnenflüssen auf die Bildung des Küstensaums.

Wenn die Zerstörung der Steilufer die erste Quelle des Sandes der Flachküsten ist, so muß als zweite Quelle die Verwitterung der Gebirge des Binnenlandes angeführt werden, deren letzte Producte an den Sandküsten zur Ablagerung gelangen, soweit sie nicht als feiner Schlick direct in das grundlose Meer geführt werden.²⁾ „In den Flüssen und Bächen findet eine beständige Abschleifung der hineingerathenen Fragmente statt, die allmähig durch die beständige Bewegung abgerundet und zu stets kleineren Rollsteinen gleichsam vermahlen werden, bis endlich nur feiner Sand übrig bleibt. — Von besonderer geologischer Wichtigkeit sind diejenigen Materialien, welche in Strömen und Flüssen in einem Zustande so feiner Aufschlammung fortgeführt werden, daß man die einzelnen Theile nicht mehr mit bloßem Auge unterscheiden kann, sondern nur eine mehr oder minder bedeutende Trübung des Wassers wahrnimmt. Dieselbe wird weit in das Meer hinein getragen, wo die Sinkstoffe erst nach und nach äußerst langsam zu Boden fallen.“ Der fruchtbare Schlick, welcher die Trübung verursacht, wird jedoch nicht immer dauernd dem Festland entzogen, sondern giebt unter gewissen Umständen Veranlassung zu Verlandungen in der Flußmündung selbst oder seitlich derselben. Besonders interessant ist in dieser Beziehung die Verschlamung der Baien des Pertuis Breton und Pertuis d'Antioche,³⁾ in welche nicht nur die Schlickmassen der Sèvre Niortaise,

1) Éstignard, L'embouchure de la Seine.

2) Vogt, Grundriß der Geologie p. 385.

3) Bouquet de la Grye, Étude hydrographique de la Baie de La Rochelle.

Charente, Seudre und mehrerer kleinerer Küstenflüsse, sondern auch bei Ebbebestromung sehr bedeutende Sinkstoffmengen der Gironde eingeführt werden. Die jurassischen Kalkfelsen, welche früher die Küste bildeten, und an denen man die Spuren der Wellenwirkung noch deutlich erkennen kann, liegen fast überall weit zurück, vom jetzigen Strand durch (3 bis 7 km) breite Marschen getrennt. Aehnliche Anschlickungen bilden sich an den deutschen Nordseeküsten.

In den meisten Fällen ist der Schlick dem Meere verfallen, das ihn aus dem Sande auswäscht und in seinen von der Wellenbewegung unberührten Tiefen niederschlägt. So erklärt es sich z. B., daß an der Küste von Gascogne, wiewohl doch Adour und Garonne enorme Massen Geschiebe und Sinkstoffe aus den Pyrenäen zuführen, nahezu Gleichgewicht eingetreten ist. Während der Tertiär- und Quaternärperiode¹⁾ häuften die Wildwässer, welche sich allmählich zu jenen beiden Flußläufen umbildeten, in mehreren großen Dejectionskegeln Kiesel, Sand und Schlick zu der kolossalen Ebene an, welche heute Landes de Gascogne genannt wird. Unter der welligen Sandfläche findet man überall eine feste Bank von Sandconglomerat mit kieseligem eisenhaltigen Bindemittel (alios). Jetzt fließen Schlick und Sand zum größten Theil, da die Küste dem steil abfallenden Rand der tiefen See ungemein nahe gerückt ist, direct dorthin ab. Nur ein relativ geringer Theil wird nördlich und südlich der Küste entlang geführt.

Ueberhaupt ist weder die Größe der Geschiebe- und Sinkstoffmengen, noch viel weniger die Größe der Wassermengen, welche von den Flüssen geführt werden, allein maßgebend für den Antheil, welchen sie an der Strandbildung nehmen. Die Wind- und Strömungsverhältnisse, die Nähe des tiefen Meeresgrundes und topographische Lage ihrer Mündungen spielen in der ersten Beziehung eine wesentliche Rolle, in zweiter Beziehung aber der Umstand, daß die bedeutendsten Trümmersmassen nicht von denjenigen Strömen zugeführt werden, welche aus nachhaltigen starken Quellen ihre Speisung finden, sondern von den Wildbächen und wildbachartigen Flüssen, die oft nahe am Versiegen sind, dann aber wiederum nach starken Regenstürzen zu kräftigen „Arbeitern“ (travailleurs) anwachsen, denen selbst mächtige Felsblöcke nicht widerstehen. So haben sich Var, Vésubie, Paillon und Tinée in den Seealpen, Têt, Tech und Agly im Languedoc, wiewohl ihr Lauf nur kurz, ihre durchschnittliche Wassermenge nur gering ist, weite Ebenen vor der Mündung angehäuft und arbeiten dauernd weiter. Der Rhône hat sich selbst die Möglichkeit verlegt, größere Körper bis zum Meer zu führen, da er von Arles ab mit sehr geringem Gefälle in einem selbstgeschütteten Bette fließt. Mehrfache Untersuchungen stellten aber zweifellos fest, daß die Wanderinge, welche den Hafen von Cette belästigen, nichts anderes sind als die Ueberreste der Rhône-Geschiebe.²⁾ „Die Analyse der Herren Élie de Beaumont und Dufresnoy legt unwidersprechlich dar, daß die Sandproben der Küste zwischen Cette und der Camargue von der Verwitterung jener Gesteine herrühren, welche durch den Rhône und seine Nebenflüsse durchzogen werden, einestheils weil sie nur aus granitischen Elementen bestehen, Quarz, Glimmer und Feld-

spath, andererseits, weil sie nur wenig Kalk enthalten, während doch die Küstengebirge aus Kalkstein gebildet sind.“ Der durch Temperatureinflüsse hervorgerufene Küstenstrom, dessen Vorhandensein an der Languedoc-Küste in Richtung N.O. zu S.W. zwar erwiesen scheint, ist bei weitem zu schwach, um allein die Sände weiterzubewegen. Doch wenn eine starke Dünung in derselben Richtung dazukommt, so wühlen die Wellen den Grund auf und die Strömung transportirt die aufgehobenen Körperchen längs dem Küstensaume voran. „Grobe Sandkörner wandern in beständig unterbrochener, sprungweiser Bewegung schräg abwärts, bis sie an einen Punkt kommen, wo die Welle sie nicht mehr erreichen kann; dort lagern sie sich ab und bilden eine bleibende Verlandung. Sehr feine Sandkörner werden, so zu sagen, im Wasser suspendirt und wandern mit ihm, in welcher Richtung es auch sei und wie groß immer der Seegang ist. Nach hergestellter Ruhe jedoch streben sie sich niederzulegen, und sinken zum Grund hinab mit einer je nach dem Grad ihrer Dichte mehr oder weniger großen Geschwindigkeit. Die Dauer ihres Falles beträgt oft nur wenige Secunden, oft aber auch mehrere Stunden.“ Da diese feinen Theilchen schon bei geringer Bewegung aus den gröberen Materialien herausgewaschen werden, am Uferende selbst aber, wo ständige Brandung herrscht, überhaupt nicht zur Ablagerung gelangen können, findet man an den höchsten Stellen des Strandes Kiesel und starkkörnigen Grand, weiter seewärts in einem 2 bis 3 km breiten Gürtel feineren Sand, sodann ein Gemenge von Sand und Schlick, in welchem der letztere um so mehr vorwaltet, je weiter man sich von der Küste entfernt, in 4 km Abstand endlich nur noch Schlick (bei ca. 25 m Tiefe). Auch die eingehenden Untersuchungen des Ingenieurs M. Guérard¹⁾ haben aus der Form der Tiefenlinien nachgewiesen, daß eine constante Temperaturströmung bis auf 90 m Tiefe die Ablagerungen der schlickigen Sinkstoffe gestaltet, welche theils direct aus dem Rhône stammen, theils von der Zerstörung weniger feiner Gerölle durch Wellenschlag herrühren. Dagegen ist nach seinen Untersuchungen die Vertheilung und der Transport des vom Rhône zugeführten Sandes oberhalb der 20 m-Tiefenlinie wesentlich eine Wirkung der Wellen und der vom Winde erzeugten Strömungen, die Gestaltung der Ufer selbst endlich ein Resultat des durch Stürme hervorgerufenen Seegangs.

§. 5. Breite der Zone, in welcher die Wanderung der Sände stattfindet.

Hierdurch ist gleichzeitig für einen Specialfall nachgewiesen, bis zu welcher Tiefe der Sand längs der Küste in stetiger Bewegung bleibt, d. h. wie breit der bewegliche Küstensaum ist, wenn hierunter nicht nur der abwechselnd vom Meer bedeckte und wieder freigegebene Strand, sondern auch der Meeresgrund, soweit die Wellen seine Böschung und Zusammensetzung wesentlich beeinflussen, verstanden wird. Hagen bemerkt hierüber Folgendes:²⁾ „Es dürfte keine gewagte Voraussetzung sein, daß der Sand, welcher von der seewärts gerichteten Strömung herabgeführt wird, nicht über diejenige Grenze hinaustritt, wo die Wellen ihn wieder in Bewegung setzen und ihn daher auch mög-

1) Burat, Voyages VIII.

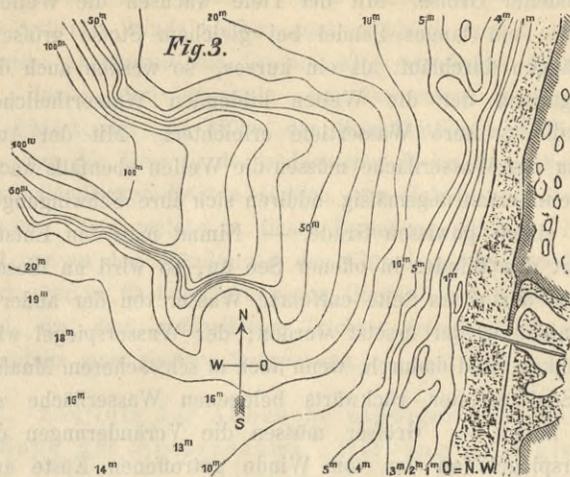
2) Le Bourignon-Duperré, L'ensablement du port de Cette.

1) Guérard, Étude sur les atterrissements des embouchures du Rhône.

2) Hagen, Seebau, I. p. 95.

licherweise wieder nach dem Ufer zurückführen können. Dafs es eine gewisse Grenze giebt, welche der Sand nicht überschreitet, habe ich sehr auffallend vor der Insel Wangeroog gesehen, als ich zur Zeit einer Springfluth während der Ebbe dem zurücktretenden Wasser folgte und plötzlich die Sanddecke aufhören sah, und den festen Klaboden betrat, der ganz frei von Sand war. Hiermit hängt auch die Erscheinung zusammen, dafs vor Pillau, wo die Ufer theils hoch mit Sand bedeckt sind, theils ganz aus Sandablagerungen bestehen, und wo auch das tiefe Fahrwasser über dem Sande sich hinzieht, dennoch der Grund der Rhede nur zäher Thon und ganz frei von Sand ist.“

Ein Beispiel¹⁾ der relativ geringen Breite, auf welche die Bewegung sich erstreckt, bietet die eigenthümliche submarine Schlucht bei dem kleinen Fischerhafen Cap-Breton an der Küste der Landes de Gascogne, Le Gouf genannt.



Dieselbe reicht (Fig. 3) so nahe an das Ufer, dafs die Tiefenlinie von 50 m nur 800 m, die von 100 m nur 1500 m davon entfernt ist. Nach der See zu ist sie $1\frac{1}{2}$ Seemeilen, landseitig ca. 800 m breit, 6 Seemeilen lang und über 100 m tief, mit steilen Hängen in den flachen Grund eingeschnitten, nur nach der Küste zu mit sanft ansteigender Böschung in das schwachgeneigte Plateau der Landesufer übergehend. Erst die 10-m-Tiefenlinie zeigt keine Ablenkung mehr. Früher erstreckte sich dies unterseeische Thal wahrscheinlich bis in das Land hinein; doch mußte die Wanderung der Sände, welche längs des Strandes von N. nach S. stattfindet, rasch den landwärts gelegenen Theil so weit ausfüllen, dafs das Ufer geradlinig wurde. Dafs die Zuschüttung nur bis zu einer Länge erfolgt ist, welche der 10-m-Tiefenlinie ihre normale Lage, parallel zur Küste, ermöglicht, beweist deutlich, dafs bei jener Tiefe die Wanderung der Strandsände aufhört. Und wirklich ist jene Tiefe an der Landesküste erfahrungsmässig die äufserste Grenze, bis zu welcher die Wellen bei hohem Seegang den Sand in Bewegung setzen. Die Sohle der submarinen Schlucht ist mit Schlick angefüllt, die Ränder sind felsig. Seit der Aufnahme von 1826 haben keinerlei Aenderungen in den Peilungszahlen stattgefunden. Aehnliche Erscheinungen, wenn auch nicht immer so drastisch, zeigen sich überall. Nur eine schmale Zone längs der Küsten ist Spielraum der wandernden Geschiebe. Der tiefe Meeresgrund selbst nimmt

1) De la Roche-Poncié, Rapport sur la fosse du Cap-Breton.

dauernd schlammige Niederschläge und die Ueberreste organischer Gebilde auf, ohne sie zurückzugeben. Er ist das Gebiet, auf welchem eine dauernde Alluvion die jüngste Formation der Erdrinde schafft.

§. 6. Bildung der Sandbänke.

Wenn im Früheren die Gestaltung der sandigen Küstensäume erklärt wurde als Folge von Geschwindigkeitsverlusten der am Uferhang auflaufenden, combinirt mit seitlichen Strömungen wirkenden, Wellen, so ist evident, dafs aus anderen Quellen herrührende Geschwindigkeitsverluste solcher Wassermassen, welche Sand und Schlick suspendirt mit sich führen, ähnliche Effecte haben müssen, selbst wenn kein Festland vorhanden ist, an das sich die Verlandung anschlieft. Solche Bildungen treten thatsächlich sehr häufig ein, entweder veranlaßt durch isolirte Klippen, Wracke und Hindernisse verschiedener Art, die sich der Wanderung des Sandes längs der Küste in den Weg stellen, oder durch die Reibung verschiedenergerichteter Strömungen, wohl auch durch Zusammenstoß von Strömungen und Dünung und durch vermehrte Rauhhigkeit des Meeresgrundes erzeugt, endlich durch Profilerweiterung und Richtungsänderung hervorgerufen, kurz durch alle Ursachen, welche auch bei geschlossenen Strömungen die Geschwindigkeit vermindern.

Diejenigen Bildungen, welche aus der zuerst genannten Quelle herrühren, sind naturgemäss nicht sehr bedeutend und wachsen meistens bald mit dem Festlande zusammen. Anders die Sandbänke, welche in Folge der Reibung bewegter Wassermassen entstehen. Dieselben haben zuweilen enorme Ausdehnung und erhalten sich vollkommen constant, da die Ursachen, welche ihre Bildung veranlaßt haben, eine Erhöhung und Umgestaltung zu Inseln ebenso wohl verhindern, als eine Verminderung ihrer Dimensionen. Beispiele für die erstgenannte Gruppe finden sich allenthalben in grosser Zahl, besonders in der Nähe solcher Flußmündungen, welche den Küstenstrom reichlich mit Geschieben versorgen. Betreffs der zweiten Gruppe sagt Klöden: 1) „Sandbänke entstehen überall da, wo sich zwei Wasserströme begegnen und einander in ihrer Bewegung, also auch in ihrer Fähigkeit, den mitgeführten Sand und Schlamm weiterzutragen, hemmen, so dafs derselbe niederfällt; daher sind hervortretende Uferspitzen und Meerengen ganz besonders geeignet, Sandbänke zu veranlassen.“ So erzeugen fast alle grossen Temperaturströmungen der Weltmeere dort, wo sie sich begegnen und theilweise einander überlagern, weit ausgedehnte Bänke, ebenso in den stillen Räumen, welche die mehrfach vorkommenden Stromschleifen einschliessen.

Bescheidenere Ursachen rufen natürlich auch bescheidenere Wirkungen ähnlicher Art hervor. Die Entstehung der Bänke zwischen England und Holland erklärt sich z. B. durch das Aufeinandertreffen zweier, nördlich und südlich die britanischen Inseln umfließenden Fluthwellen²⁾ und durch den Einfluß der Dünung, welche oft höchst ungünstig gegen die sandführenden Fluthströmungen gerichtet ist. Die unmittelbar am Ausgange des Canals La Manche gelegenen Bänke werden als Folge des Geschwindigkeitsverlustes bei der

1) Klöden, Erdkunde I. p. 88.

2) Plocq, Études des courants dans le Pas de Calais. Ann. d. Ponts et Chaussées 1863, I. p. 103.

Vergrößerung des Strömungsbettes betrachtet. Eine Vergleichung¹⁾ der neueren Aufnahmen mit alten Seekarten hat ergeben, daß dieselben sich nur unwesentlich geändert haben. Die tiefen Rinnen zwischen den Bänken höhen sich langsam auf, die weniger tiefen bleiben intact. „Was die Bildung der Bänke anbelangt, so begreift man, daß die aus dem engen Pas de Calais ausgehenden Strömungen bei der bedeutenden Profilerweiterung an Geschwindigkeit verlieren und deshalb seit lange schon einen Theil ihrer suspendirten Schlick- und Sandmassen niederfallen lassen mußten. So erklärt sich die in Richtung jener Strömungen langgestreckte Form der Bänke. Auch heute finden noch oft solche Niederschläge statt. In den großen Tiefen bleiben die einmal deponirten Alluvionen unbewegt liegen, wodurch sich die allgemeine langsame Aufhöhung der Rinnen erklärt. In den geringeren Tiefen setzt das Spiel der Wellen Sand und Schlick stets von Neuem in Bewegung, so daß die Strömungen die gelockerten Massen wegführen. Es kann sich daher eine Bodenerhebung dort nicht bilden.“

Eine Klippenkette, welche, so zu sagen, als Strömungs- und Wellenbrecher wirkt, vermag ebenfalls, wenn sie weit genug vom Ufer abliegt, um die Wandersände der Küste nicht direct zu beeinflussen, als Kernpunkt einer selbständigen Sandbank zu dienen. In dieser Weise ist die Bank de la Bassure bei Boulogne²⁾ entstanden. Auch hier haben sorgfältige Vergleiche der neuen und alten Peilungen nennenswerthe Aenderungen nicht constatiren können; die Bank selbst hat sich in 40 Jahren um wenige Meter nordwärts verlängert und südwärts verkürzt, während die tiefe und breite Rinne, welche sie von dem Festland trennt, völlig unverändert geblieben ist.

§. 7. Einfluß der Abbrüche sandiger Ufer auf die Bildung des Küstensaums. Wirkung der Sturmfluthen.

Die Zerstörung der Steilküsten durch das Meer und der Binnenlands-Gebirge durch die Wasserläufe, welche deren Trümmer in die See führen, sind die primären Ursachen für die Entstehung der Wandersände. Aber die Masse der wandernden Sände ist so groß, und sie treten oft in so weiten Entfernungen von jenen beiden Quellen auf, daß schon hieraus auf die Existenz einer dritten Bildungsweise geschlossen werden mußte, wenn nicht der Abbruch sandiger Ufer an vielen Stellen ein nur allzu gut bekanntes Factum wäre. ³⁾ „Die großen Sandmassen, die man im Meere wahrnimmt, lassen sich oft nur durch die Annahme erklären, daß sie aus dem Abbruche sandiger Meeresufer sich ansammeln.“

Die Gestaltung der Küste ist, wie früher erwähnt, ein Ergebniß des Wellenschlags, der Strömungen und der Winde, wird also in engen Grenzen um einen gewissen Gleichgewichtszustand schwanken, so lange jene Kräfte normale Größe behalten oder doch nur wenig von derselben abweichen. Wird jedoch durch heftige Stürme ihre Stärke erheblich vermehrt, so erfolgt an den Stellen, welche der verderblichen Wirkung am meisten ausgesetzt sind, Abbruch

des Ufers, vorzugsweise aber, da der Wasserstand sich bei auflandigen Stürmen heben und den Strand überdecken muß, der durch denselben geschützten Dünen und älteren Bildungen. Die Wirkung ist um so verderblicher, je höher die vom Meere gegen die Küste getriebenen Wassermassen ansteigen.

Wie bereits die mäßigen Schwankungen des Meerespiegels, welche von leichteren Winden hervorgerufen werden, einige Aehnlichkeit mit den, freilich durch ihre Gesetzmäßigkeit sich wesentlich unterscheidenden, Schwankungen in Folge siderischer Einflüsse aufweisen, so erinnert die Erzeugung der mächtigen Sturmwellen vielfach an die Flutherscheinung, und die gewaltigen Anschwellungen des Meeres durch den Sturm werden demgemäß „Sturmfluthen“ genannt. ¹⁾ „Weht der Wind über eine Wasserfläche, so erzeugt er je nach ihrer Tiefe und Ausdehnung Wellen von verschiedener Größe. Mit der Tiefe wachsen die Wellen, denn wie ein langes Pendel bei gleichem Stöße größere Bogenlängen durchläuft als ein kurzes, so werden auch die Schwingungen der die Wellen bildenden Wassertheilchen durch die größere Wassertiefe erleichtert. Mit der Ausdehnung der Wasserfläche müssen die Wellen ebenfalls wachsen, denn erfahrungsmäßig addiren sich ihre Schwingungen bis zu einem gewissen Grade. — Nimmt man den Entstehungsort des Windes in offener See an, so wird an diesem das nach der einen Seite entführte Wasser von der anderen Seite nicht wieder ersetzt werden; der Wasserspiegel wird hier sinken, und dadurch, wenn auch in schwächerem Maße, eine Senkung der rückwärts belegenen Wasserfläche zur Folge haben. — Größer müssen die Veränderungen des Wasserspiegels an der vom Winde getroffenen Küste ausfallen, und über das Maße derselben entscheidet die Belegenheit der Küste. Bildet die Küste eine vorspringende Ecke, bietet sie also dem Winde gleichsam eine Spitze, so kann das andrängende Wasser zu beiden Seiten abfließen, und die Erhöhung fällt verhältnißmäßig gering aus. Bedeutender muß sie werden, wenn die Küste in langer gerader Linie dem Winde entgegensteht, am bedeutendsten aber, wenn die Küste, eine tiefe und allmählich sich verengende Bucht begrenzend, vom Winde getroffen wird.“ Hierdurch erklärt sich, weshalb z. B. die Sturmfluth vom November 1872 solch furchtbare Verheerungen an der westlichen Küste der Ostsee hervorbringen konnte. ²⁾ Der mehrere Tage dieses Binnenmeer in seiner ganzen Länge durchstreichende Nordoststurm trieb das Wasser, dessen Niveau vorher durch längere starke Einströmung von der Nordsee her bedeutend erhöht war, aus dem östlichen Theile in das südwestliche trichterförmig gestaltete Becken, wo der Wasserstand weit über 3 m das mittlere Niveau überstieg.

Wenn ähnliche Verhältnisse, wie die vorstehend beschriebenen, an solchen Meeren vorwalten, in welchen die Tideerscheinung merkliche Größe annimmt, so übersteigen oft die von der Sturmwirkung veranlaßten Schwankungen des Wasserspiegels bei weitem die regelmässigen Niveaudifferenzen der Ebbe und Fluth. Dies ist z. B. der Fall an den südöstlichen Küsten der Nordsee, in noch höherem Grade

1) De la Roche-Poncié, Reconnaissance de la côte Nord de France entre Calais et la frontière.

2) Ploix, Reconnaissance de Boulogne.

3) Hagen, Seebau I. p. 219.

1) Lentz, Fluth und Ebbe, p. 115.

2) Baensch, Die Sturmfluth vom 12./13. November 1872. Zeitschrift f. Bauwesen. 1875.

an der baskischen Küste. Die Bai von Saint-Jean-de-Luz¹⁾ liegt daher zum größten Theile im Abbruch, da alle Vorkehrungen gegen denselben durch die Uebergewalt der von Nordwesten her eingewehten Sturmwellen unwirksam gemacht werden. Je höher die Wasserstände der Sturmfluthen über die gewöhnlichen Hochwässer steigen, um so verderblicher muß der Einfluß solch anormaler Wellen auf die Sandküste sein. Wenn man die zerrissene friesische Küste mit der großentheils gleichfalls flachen, aber glatt abgerundeten Ostküste Englands vergleicht, so zeigt der bloße Augenschein, daß in der Nordsee die Nordwestwinde vorherrschen müssen.²⁾ „In Cuxhaven sind im Frühling und Sommer die nordwestlichen, im Herbst und Winter die südwestlichen Winde vorherrschend. — Im Jahresmittel werden die Maxima, welche auf der westlichen Hälfte der Windrose in Cuxhaven auf S. W. und N. W. treffen, auf Helgoland nach W. und N., also beide 4 Striche nördlicher, geschoben.“ Die östlichen Winde bleiben ganz erheblich zurück. Da die Nordsee annähernd die Gestalt eines länglichen Rechtecks hat, dessen eine Diagonale nach Nordwesten gerichtet ist, so erklärt sich die Höhe der Sturmfluthen und die Abbrechung der Ufer in der südöstlichen Ecke ohne Weiteres. Die holländischen Küsten südlich vom Helder und die flandrischen Ufer, welche in dieser Beziehung günstiger liegen, sind nur an den Mündungen der Flüsse in Inseln aufgelöst, sonst aber in flachgeschwungenen Curven abgeglichen. Jütland, das dem gefährlichen Trichter ferner liegt, besitzt gleichfalls eine glattere Begrenzung.

§. 8. Einfluß der Abbrüche sandiger Ufer auf die Bildung des Küstensaums. Wirkung geologischer Vorgänge.

Auch geologische Vorgänge können die Zerstörung der Sandufer begünstigen und dadurch indirect Material für die Küstensände, das weiterhin zur Bildung neuer Strände dient, liefern. Manche Küsten sind zum Abbruche geradezu prädestinirt; sie leiden schwerer bei gleich starken Angriffen als andere ähnlich gelegene. So ist z. B. das Ufer des Mittelländischen Meeres von der Nilmündung bis zum nördlichen Syrien ganz ähnlichen Wirkungen ausgesetzt wie die friesische Küste. Aber das Festland gewinnt trotzdem an Ausdehnung.³⁾ Die nächstliegende Erklärung hierfür ist jener geologische Vorgang, welchen man „säculäre Erhebung“, bzw. „säculäre Senkung“ zu nennen pflegt. In Syrien sind unzweifelhafte Symptome einer Erhebung, dagegen an der deutschen Nordseeküste Beweise für die allmähliche Senkung aufgefunden worden. Dieselben Ursachen, welche von wesentlichem Einfluß darauf sind, daß die Ablagerungen am Ausfluß von Binnenströmen sich nur mangelhaft entwickeln oder doch stets von Neuem der Zerstörung anheimfallen, begünstigen auch den Abbruch der Küsten. Credner⁴⁾ weist in einer Abhandlung über die Bildung der Deltas den innigen Zusammenhang nach, in welchem Senkungserscheinungen mit deltafreien Flußmündungen stehen. Schon die Analogie würde vermuthen lassen, daß jene eigenthümliche

Prädestination der deltafreien friesischen Küste eine Wirkung der säculären Senkung sei.

Aehnlich wie die Inseln Schleswig-Holsteins nicht nur durch die Sturmfluthen, sondern auch durch dauernde Angriffe leiden, welchen zwar theilweise ein Ziel gesetzt ist, erdulden die meisten Sandküsten fortwährend kleinere Verluste. Wahrscheinlich erstreckte sich die friesische Küste früher bis zur Insel Helgoland. Für die Fortschritte, welche die Zerstörung der Küste von Schleswig in historischer Zeit gemacht hat, liefert Dankwerths Chronik zahlreiche Belege (Fig. 1). Auch die Zuyder-See wurde erst im 13. Jahrhundert, ebenso der Dollart 1277 gebildet. Die das vormalige Festland begrenzende Dünenkette, deren Ueberreste wir als ostfriesische Inseln kennen, war schon zur Römerzeit zerrissen und hinterspült. Die Auskolkung ging damals weit tiefer in das Land hinein, als bis zur Grenze der hinter den Inseln liegenden Marschen, die größtentheils auf künstlichem Wege dem Meere abgerungen sind. Plener¹⁾ vermuthet, die Zerstörung der Dünenkette sei die Folge eines anderen geologischen Vorgangs, nämlich des Durchbruchs der Meerenge zwischen England und Frankreich, der erst, geologisch gesprochen, vor kurzer Zeit erfolgt sein kann, da Großbritannien alle wilden europäischen Thiere und Pflanzen besitzt, welche seinem Klima zukommen. Daß „den Fluthen aus dem Ocean ein freierer Eintritt gestattet“ wurde, soll die Ursache der Uferabbrüche gewesen sein. Allerdings ist sehr wahrscheinlich, daß auch dieser Umstand ungünstig eingewirkt hat, wiewohl er nicht allein zur Erklärung ausreicht.

Jede große Umgestaltung des Ufers ruft auf weite Strecken hin andere Umbildungen hervor. Eine Verlandung am einen Ort kann den Abbruch des benachbarten Strandes zur Folge haben, wenn die Strömung ungünstig abgelenkt wird. Umgekehrt ist der Abbruch sandiger Ufer stets die Ursache neuer Landbildungen. Um nochmals auf das Beispiel von Schleswig und Ostfriesland zurückzukommen, sei hier erwähnt, daß es nicht allein der von den Flüssen zugeführte Schlick ist, sondern auch der mit der Fluthströmung von den Inseln her in die Watten eintreibende Sand, wodurch im Schutze der Inselkette die Erhöhung des Watts und die Vergrößerung der Polder bewirkt und demnach allmählich der Verlust ersetzt wird, den früher die Sturmfluthen verursacht haben. In ähnlicher Weise sind an der dithmarscher Küste seit Anfang des 17. Jahrhunderts Tausende von Hektaren durch Einpolderung der Kooge gewonnen worden. Es ist dies nur möglich infolge des energischen Eingreifens einer neuen Kraft, die vor Zeiten noch nicht existirte, heutzutage aber mächtig genug ist, das Wechselspiel der Erosion und Alluvion zu Gunsten der letzteren umzugestalten. Diese neue Kraft ist die Menschenhand, welche durch Aufwerfen von Deichen, durch Bau und Unterhaltung von Uferschutz- und Anlandungs-Werken das Festland mehr und mehr der Inselkette nähert. Wiewohl mehrfache gewaltsame Einbrüche relativ neueren Ursprungs einen Theil der dem Meere abgewonnenen Landstrecken wieder vernichtet haben, ist der Gewinn an Marschland, welchen die menschliche Thätigkeit durch Benutzung der günstigen und Abwehr der ungünstigen Einflüsse erzielte, ein ganz bedeutender. Die Inseln selbst

1) Bouquet de la Grye; Étude sur la baie de Saint-Jean-de-Luz. Ann. d. Ponts et Chauss. 1876. I. p. 315.

2) Lentz, Fluth und Ebbe p. 146.

3) Peschel, Neue Probleme der vergleichenden Erdkunde p. 108.

4) Credner, Die Deltas. Petermanns Geogr. Mittheil. Ergänzungsheft Nr. 56.

1) Plener, Bemerkungen über die ostfriesischen Inseln. Zeitschrift d. Hannov. Architect.- u. Ingen.-Ver. II. p. 44.

verlieren zwar noch andauernd an Größe, obgleich auch hier zu hoffen ist, daß die Macht der Sturmfluthen wird gebrochen werden können. Nächst denselben sind Erosionsströmungen die hauptsächlichsten Ursachen der stetigen Landverluste. Bei den Sturmfluthen erfolgen häufig Durchbrüche der Dünen, während jene Strömungen den Strand angreifen und damit die Einwirkung des Wellenschlags auf die Dünenkette um so lebhafter und vernichtender machen. Gerade aber durch die fortschreitende Verlandung des Wattenmeeres werden die Strömungen am wirksamsten bekämpft. Dieselben entstehen in den Seegatten, d. h. den Zwischenräumen zwischen je zwei Inseln, infolge des Aus- und Einfließens der von Wind und Tidewelle eingetriebenen Wassermassen, durch deren Verminderung selbstverständlich auch die Spülwirkung abnimmt. Diese localen Erosionsströmungen haben natürlich mit den Küstenströmen nichts gemein. Ihre Geschwindigkeit ist weit größer; überhaupt ihre Eigenschaften, wie ihre Ursachen sind völlig andere. Sie wirken bei den ostfriesischen Inseln hauptsächlich deshalb so gefährlich, weil sie durch die vom Nordwestwind, welcher den Dünen sand der westlich gelegenen Insel in das Gatt treibt, an deren Ostende hervorgerufene Verlandung gegen den Westrand der östlich gelegenen Insel gedrängt werden. Das Wattenmeer ist vollkommen als Spülbassin aufzufassen, und die Seegatte wirken als Spülcanäle.

§. 9. Ursachen und Wirkungsweise der Küstenströmungen. Küstenströmungen in Binnenmeeren.

Als Ursachen derjenigen continuirlichen oder periodischen Bewegungen im Meereswasser, welche man „Strömungen“ nennt, werden gewöhnlich in erster Linie die Temperaturdifferenzen der verschiedenen Breitgrade angeführt. In hoher See üben dieselben allerdings auch bei weitem die mächtigsten Einflüsse aus. In der Nähe des Festlandes werden jedoch die Temperaturströme durch die vermehrte Reibung ganz erheblich abgeschwächt. Aehnlich wie in der Ostsee¹⁾ eine südliche kalte Strömung, welche durch die Verschiedenheit der Umdrehungsgeschwindigkeit der Erde an das westliche Ufer gedrängt wird, einer nördlichen warmen, die dem Ostufer folgt, zu entsprechen scheint, haben die Beobachtungen französischer und italienischer Ingenieure das Vorhandensein eines nach Westen gerichteten Stromes an der ligurischen und an der Languedoc-Küste, eines nach Osten gehenden Stromes am algerischen Ufer erwiesen. Aber die Geschwindigkeit dieser Temperaturströmungen ist so gering, daß sie einen wesentlichen Einfluß auf die Fortbewegung schwerer Körper nicht ausüben können. Die Sandkörner entziehen sich ihrer Wirkung wahrscheinlich vollkommen, während sie wohl geeignet sind, das Schlammbett in größeren Meerestiefen auszubilden, wofür die früher erwähnten Untersuchungen Guérards über die Vertheilung der Rhône-Alluvionen den Nachweis liefern. Die Strömungen, welche in Folge verschiedener specifischer Gewichte des Seewassers in den Verbindungscanälen zwischen Binnenmeeren und dem großen Meeresbecken auftreten, sowie ähnliche Erscheinungen an Flußmündungen, immer aus einem salzigen Unterstrom und einem brackigen Oberstrom bestehend, sind rein localer Natur.

1) Hagen, Seebau. I. p. 194.

Der wichtigste Factor bei der Bildung von kräftig wirkenden Küstenströmungen in Meeren ohne bedeutenden Fluthwechsel ist der Wind. Fast immer schwankt, selbst in kurzen Intervallen, die Richtung der Strömung mit der des Windes; und die Hauptrichtung, in welcher vorzugsweise die Wanderung der Küstengeschiebe erfolgt, ist stets durch die herrschende Windrichtung bedingt. Steht dieselbe schräg zur Küste, so geschieht die Wasser- und Sandbewegung in der zum Ufer parallelen Componente. ¹⁾An der pommerischen Küste, welche sich wegen ihrer langgestreckten geraden Ausdehnung, annähernd von S.W. nach N.O., besonders zu derartigen Beobachtungen eignet, ist die Küstenströmung nach der westlichen Seite gerichtet, wenn der Wind aus den Richtungen N.N.O. durch O. bis S.O. weht, nach der östlichen Seite, wenn der Wind aus den Richtungen S.W. durch W. bis N.W. weht. Bei den übrigen Winden ist die Richtung öfters zweifelhaft oder abwechselnd. Im Sommer, weil die östlichen Winde häufig auftreten, werden an den Mündungen der kleinen Seehäfen Hinterpommerns die Sandbänke von Osten nach Westen zu vorgeschoben. Die starken westlichen Winde der Wintermonate treiben sie wieder zurück. In derselben Weise hat Le Bourignon-Duperré ²⁾ für die Küste bei Cette den Zusammenhang zwischen Wind und Küstenstrom unzweifelhaft nachgewiesen. „Die thatsächlich beobachteten Strömungen, welche man als eine Folge der Wirkung des Windes ansehen kann, sind unregelmäßig; man darf sie nicht mit dem constanten Küstenstrom, welcher von den italienischen Schriftstellern beschrieben wird, verwechseln. Letzterer (dessen Ursache wahrscheinlich die Temperaturdifferenz ist) hat zu geringe Geschwindigkeit, um Einfluß auf die Ablagerung des Sandes auszuüben.“

Die lebendige Kraft der schräg zur Küste gerichteten Wellen wird, da sie beim Auflaufen auf das flach ansteigende Ufer stets eine derartige Ablenkung erfahren, daß ihre Scheitel nahezu parallel zur Küste streichen, theilweise in Wärme umgesetzt, theilweise auf Erosion verwandt, zum größten Theile aber zur Fortbewegung der erodirten Sände und der Wassermassen selbst verbraucht. Diese Fortbewegung erfolgt in doppelter Weise, einmal senkrecht, anderentheils parallel zur Küste. Letztere Bewegung ist um so stärker, je schräger die ursprüngliche Wellenrichtung gegen die Küste ansteht. Die Geschwindigkeit schwankt außer mit der Richtung auch mit der Stärke des Windes. Bei Cette erregen kräftige Stürme, welche das Ufer unter 45° treffen, Küstenströmungen mit 1,5 bis 2 m per sec. Geschwindigkeit an der Oberfläche, die jedoch nach unten erheblich abnimmt. Bis zu welcher Tiefe der Strom wirksam ist, hängt davon ab, wie tief die Wellenerosion abwärts reicht. Für mittelstarke Winde schätzt De La Roche-Poncié das Wirkungsgebiet der Wellenerosion und der Küstenströmung auf 3 m unter dem Wasserspiegel, für frische Brisen auf 5 m, für Stürme auf 10 m und darüber. Hieraus erklärt sich die Erscheinung, daß Versandungen, welche sich bei schwachen Westwinden vor den pommerischen Häfen in etwa 3 bis 5 m Tiefe gebildet haben, bei kräftigerem Anschwellen der Winde wieder verschwinden. Die von außergewöhnlich starken Winden erzeug-

1) Baensch, Studien aus dem Gebiete der Ostsee. Zeitschr. f. Bauwesen 1872.

2) Le Bourignon-Duperré, L'ensablement du port de Cette.

ten Sturmfluthen und die oft auf Hunderte von Kilometern sich fortpflanzenden langgestreckten, aber niedrigen Wellen, welche wahrscheinlich als Nachwehen weit entfernter Sturmfluthen zu betrachten sind, in Frankreich *houle de fond* genannt, regen bis in größere Tiefen den Grund auf.

Im Früheren ist bereits näher ausgeführt, daß die Breite des beweglichen Küstensaums gleichfalls von der Tiefe der Küstenströmungen abhängig ist. Temperaturströme längs den Festlandsufern sind constant ihrer Richtung und Tiefe nach, besitzen aber nur geringe Geschwindigkeiten; ihre Herrschaft erstreckt sich auf die Gestaltung der schlickigen Alluvionen. Küstenströmungen, welche der Wind verursacht, sind unregelmäßig in Beziehung auf Richtung, Wirkungstiefe und Stärke; ihr Gebiet ist der bewegliche Küstensaum, welcher aus den wandernden Sänden oder größeren Geschieben gebildet wird.

§. 10. Ursachen und Wirkungsweise der Küstenströmungen. Küstenströmungen in Tidemeeren.

In denjenigen Meeren, deren Fluthwechsel so stark ist, daß die von der Tideerscheinung herrührenden Niveauveränderungen im Allgemeinen größer sind als die durch die Winde verursachten, kommt ein neuer Factor hinzu, der die Küstenströmungen höchst bedeutsam beeinflusst; das sind die periodisch alternirenden Strömungen, welche durch das in Folge siderischer Einflüsse statthabende Steigen und Fallen des Meeres veranlaßt werden. ¹⁾ „Die Fluthwellen, wenn auch durch ihre Ausdehnung und regelmäßige Wiederkehr von allen anderen Wellen verschieden, sind ohne Zweifel denselben Gesetzen unterworfen wie diese. Eine Welle wird hauptsächlich durch drei Eigenschaften charakterisirt: durch ihre Form, durch die Bewegungen der sie bildenden Wassertheilchen und durch die Geschwindigkeit ihres Fortschreitens. — Die Bewegungen des Wassers, welche die Bildung und Fortpflanzung der Wellen begleiten, nennt man gewöhnlich „Oscillationen“ oder „Schwingungen“, weil sie, pendelartig, abwechselnd nach der einen und nach der anderen Richtung erfolgen. — Bei der Fluthwelle nennt man dieselben: „Strömungen“, wahrscheinlich aus dem rein äußerlichen Grunde, weil die Richtung der Bewegung jedesmal etwa 6 Stunden unverändert bleibt, wodurch für unsere Sinne der Eindruck des rhythmischen Wechsels verloren geht. — Die Stärke der Strömungen ist nicht allein an jedem Orte eine andere, sondern sie ändert sich auch an demselben Orte in jedem Augenblick der Tide, und ist an verschiedenen Tagen für dieselben Augenblicke der Tide verschieden. — Während längerer Zeit sowohl nach Hoch-, wie nach Niedrigwasser läuft der Strom gegen das Gefälle, beidemal nach der Seite, auf welcher die Welle noch im Wachsen begriffen ist, und liefert das für sie erforderliche Wasser.“

Diese Strömungen sind auf die Gestaltung der Küste von großem Einfluß. Fällt eine derselben mit der herrschenden Windrichtung zusammen, so ist durch die vereinigte Wirkung diejenige Richtung bestimmt, nach welcher hin die Wanderung der Ufersände erfolgen muß. In dieser Weise unterstützen die Tideströmungen die vom Wind erzeugten Küstenströme beim Transport der vom Wellenschlag aufgewirbelten Sinkstoffe. Da sie periodisch alterniren, so ist

1) Lentz, Fluth und Ebbe p. 33.

es möglich, daß bei Windstille oder bei Winden aus einer, der herrschenden entgegengesetzten Richtung die Tendenz der Küstenwanderung umgekehrt wird. Während z. B. an der normannischen Küste im Allgemeinen die Küstengeschiebe nach Osten wandern, wohin der Fluthstrom geht, führt die Ebbeströmung öfters beträchtliche Mengen Feuersteinknollen von den östlich gelegenen Kreideufeln nach Le Havre und in die Seine-mündung. Durch das Zusammenwirken dieser beiden Strömungsarten, der Tide- und der Wind-Strömungen, mit Temperaturströmen werden die Erscheinungen noch weiter complicirt, wie dies z. B. der Fall ist an der baskischen Küste, wo der nach N. gehende Rennel-Strom sich deutlich bemerkbar macht. Doch überwiegen stets in größeren Tiefen die Tideströmungen, während im oberen Theile des Küstensaums die vom Winde verursachten Strömungen um so größeren Einfluß ausüben, je flacher das Ufer abfällt, indem gleichzeitig die Wellenwirkung kräftiger wird, die Stärke der Tideströmungen aber abnimmt. Dieselben werden nämlich in hohem Grade durch die Nähe des Ufers abgeändert. Zu den Schwankungen, welchen sie in Folge der periodischen Aenderungen der Tideerscheinung unterliegen, wodurch sowohl ihre Dauer, als ihre Intensität ganz bedeutend berührt wird, kommen noch andere, durch die örtliche Lage bedingte Schwankungen ihrer Dauer, ihrer Geschwindigkeit und der Zeitpunkte, an welchen sie die größten Geschwindigkeiten annehmen oder die Richtung ändern.

Da die, scheinbar als compacter Wasserberg fortschreitende Fluthwelle ¹⁾ sich durch Wasserablagerung auf dem vorderen, durch Wasserentnahme auf dem rückseitigen Hange ausbildet, so zwar, daß die oberhalb des Mittelwassers befindlichen Wassermassen über den Scheitel der Welle weg vom rückseitigen nach dem vorderen Hange, die unterhalb befindlichen Wassermassen des rückseitigen Hanges dagegen über den Fuß weg nach dem vorderen Hange der nachfolgenden Fluthwelle strömen, so muß bei ungestörter Ausbildung das Kentern der Strömungen, d. h. der Strömungswechsel, zur Zeit des Mittelwassers, die größte Geschwindigkeit aber zur Zeit des Hoch- und des Niedrigwassers eintreten. In der Nähe des Landes rückt jedoch der Augenblick, in welchem die Stromgeschwindigkeit Null wird, um dann langsam im entgegengesetzten Sinne zu wachsen, bedeutend vor, häufig sogar bis zu dem Scheitel- oder dem Fußpunkte selbst. Alsdann fällt die Ebbeströmung mit dem Sinken des Wassers (Ebbe), die Fluthströmung mit dem Steigen desselben (Fluth) zusammen. Diese Erscheinung läßt sich in der Weise erklären, daß die Fluthwelle auf dem ansteigenden Ufer nicht zur vollständigen Ausbildung gelangen kann.

„Das Kentern der Strömungen verspätet sich (in der Seine-Bai) um so mehr gegen die Hoch- und Niedrigwasserzeiten, je weiter die Orte, wo sie stattfinden, vom Lande entfernt sind.“ ²⁾ Bei Cuxhaven ³⁾ beträgt die Verspätung der Fluthströmung ca. 1½ Stunden, die der Ebbeströmung sogar 2 Stunden. Bei Boulogne ⁴⁾ beginnt die Ebbe-

1) Löhmann, Die Fluthwelle der Tideströme. Zeitschrift d. Hannov. Architect.- u. Ingen.-Ver. 1880. — Vgl. hierüber auch: Börgen, Ueber Gezeiten-Strömungen in dem englischen Canal. Ann. d. Hydrographie. 1880. p. 1.

2) Segelanweisung für Le Havre.

3) Löhmann a. a. O.

4) Ploix, Reconnaissance de Boulogne.

strömung am Lande 2 bis 3 Stunden nach Hochwasserzeit, im freien Meer dagegen erst 4 Stunden nach derselben; die Fluthströmung setzt in der See ungefähr $2\frac{1}{3}$ Stunden nach Niedrigwasserzeit, $\frac{1}{4}$ Stunde früher am Lande ein. Die Maximalgeschwindigkeiten werden $\frac{1}{2}$ Stunde vor H. W., bezw. $\frac{1}{2}$ Stunde nach N. W. erreicht. Bei Dunkerque¹⁾ findet auf der Rhede das Kentern der Tidedrömungen annähernd bei Mittelwasser statt, die größten Geschwindigkeiten zur Zeit des höchsten und des tiefsten Wasserstandes. Am Lande wechseln die Strömungen etwas früher.

Die Dauer der alternirenden Bewegungen ist, wenn die Fluthwelle sich in normaler Weise ausbilden kann, im freien Meere für beide Strömungen gleich. In Meerengen, welche von zwei Seiten her von Fluthwellen durchzogen werden, sowie an den Mündungen größerer Ströme und Buchten ändert sich dagegen die Dauer bedeutend. Alsdann treten Interferenzerscheinungen der mannigfachsten Art auf.²⁾ An der französischen Küste, wo die aus dem Ocean in den Canal eintretende Welle mächtiger ist als die aus der Nordsee einströmende, dauert die Ebbeströmung $1\frac{1}{2}$ bis 2 Stunden länger wie die Fluthströmung. Die Geschwindigkeit der letzteren ist dagegen relativ größer als die der ersteren, bei Boulogne 1,5 m gegen 1 m. Diese Geschwindigkeit nimmt nicht etwa mit wachsender Tiefe ab, sondern ist auf der ganzen Höhe einer Verticalen nahezu gleich groß. Je näher die Strömung dem flachen Ufer kommt, um so geringer wird die Geschwindigkeit.

Endlich ändert die unmittelbare Nähe des festen Landes öfters die Richtung einzelner Zweige der Tidedrömungen, welche durch Ufervorsprünge abgelenkt oder durch Buchten eingesogen werden. Diese Erscheinungen geben Veranlassung zur Entstehung quergerichteter und wirbelartiger Ströme, deren Auftreten zuweilen von großem Einfluß auf die Bildung des Küstensaumes ist.

§. 11. Einwirkung des Windes auf den trockenen Strand.

In wie gewaltiger Weise der Wind als Ursache des Wellenschlags und als eine Quelle der Küstenströmungen auf die Gestaltung des beweglichen Ufersaumes einwirkt, wie die Sturmfluthen, ein Erzeugniß der atmosphärischen Bewegung, Umbildungen des höhergelegenen Theiles der Küste in größtem Maasse veranlassen, ist im Früheren gezeigt. Aehnliche Erscheinungen ruft jedoch auch seine unmittelbare Einwirkung auf das trockene Ufer hervor. Der Seewind, wenn er senkrecht zum Küstenrande, in verticalem Sinne schwach geneigt, gegen den flach ansteigenden Strand stößt, wirkt auf die Sandfläche erodirend³⁾ und treibt die Sandkörnchen in der durch den Reflexwinkel bestimmten Richtung nach dem Binnenlande. ⁴⁾Die Sandkörnchen fangen an zu hüpfen, und die Sprünge werden immer ausgedehnter, indem sie bei der jedesmaligen Berührung des Bodens wie ricochetirte Kugeln, da der Wind sie dauernd trifft, sich neu erheben. Wo die Stärke des Windes merklich

abnimmt, oder wo ein künstliches Hinderniß geschaffen ist, welches den Sand auffängt, ohne die Luftströmung abzulenken, welche Ablenkung Erosion zur Folge haben würde, entsteht eine Sandansammlung, aus der sich nach und nach die vorderste Düne ausbildet, „Vordüne“ genannt, wenn sie künstlich erzeugt und regelmäsig entwickelt ist.

Winde, welche schräg gegen die Küste wehen, erfahren auf dem Strande vor diesen Sandhügeln, ähnlich wie die Wellen auf dem wasserbedeckten Ufer, eine Ablenkung. Die zur Vordüne senkrechte Componente bricht deren see-seitige Böschung, wenn sie nicht rechtzeitig bepflanzt und sorgfältig unterhalten wird, wieder ab und treibt die feinen Körnchen direct landwärts, die parallele Componente erzeugt eine mehr oder minder heftige Flugsandströmung, vollständige wandernde Sandnebel, welche weite Oeffnungen in mächtigen Bogen überspringen, zuweilen aber auch zu der Verflachung, sogar zur Verlandung abgeschlossener Meerbusen oder kleinerer Flusmündungen führen. — Wo die Vordüne eine Lücke offen läßt, weicht die treibende Sandwolke durch dieselbe binnenwärts aus und giebt Veranlassung zur Bildung einer inneren Düne, deren Böschung nach jener Lücke zu sanft, in der entgegengesetzten Richtung aber schroff abfällt. Wenn eine Küste dem Zufall überlassen bleibt, eine regelmäsig Vordüne also nicht existirt, so entstehen längs ihrer ganzen Ausdehnung solch isolirte Hügel, die sich häufig zu wild zerrissenen Ketten vereinigen. Die fortgesetzten Angriffe gegen die vordere Dünenreihe veranlassen weiter landwärts neue Bildungen ähnlicher Art. Die Dünen wandern von der Küste ins Binnenland. Wo der Wasserstandswechsel am größten, sind auch die Dünen am höchsten, an der atlantischen Küste Frankreichs¹⁾ z. B. oft 80 bis 90 m hoch, an der provençalischen Küste nur 7 bis 10 m, an der Ostsee 10 bis 30 m. Nur sorgfältige Bepflanzung der Vordüne, stetige Aufsicht und sorgsame Cultur der inneren Dünen vermag die Wanderung aufzuhalten.

Allein die in solcher Weise erfolgende Dünenbildung wird nicht immer einzig nach der Landseite hin vorschreiten. An solchen Küsten, wo das Meer große Sandmassen absetzt, oder wo etwa in Folge der allmäligen Verdunstung eines Binnensees, vielleicht auch durch säculäre Hebung der Strand sich von selbst verbreitet, entstehen neue Dünenreihen vor den älteren. Hagen²⁾ führt mehrere Beispiele von der pommerschen Küste an. Burat³⁾ beschreibt eine ähnliche Erscheinung im Rhonedelta, wo sich bei Mauguio und Aigues-Mortes deutlich die Reste dreier ehemaliger Dünencomplexe, welche durch langsame Vorwanderung des Strandes zur Ruhe gekommen sind, wahrnehmen lassen. Czerny⁴⁾ sucht den Beweis zu führen, „daß die Sandwüsten in der Regel Dünenbildungen an den Gestaden der vorzugsweise infolge der Verdunstung zurücktretenden einstigen Binnenmeere seien.“ Welch ein mächtiges geologisches Agens die Wanderung der Dünen ist, beweisen die neuesten Bildungen des Festlandes,⁵⁾ da die „eigentlichen Flachländer, z. B. die Tiefebene in Norddeutschland, Dänemark, Holland und Frankreich, den Dünen ihre Existenz verdanken; und man

1) De La Roche-Poncié, Côte Nord de France.

2) Ploq, Étude des courants dans le Pas de Calais. Ann. d. Ponts et Chauss. 1863. I. p. 103.

3) Czerny, Die Wirkungen der Winde auf die Gestaltung der Erde. Petermanns Geogr. Mittheil. Ergänzungsh. Nr. 48 p. 26.

4) Hagen, Seebau II. p. 98.

1) E. Reclus, La Terre II. p. 237.

2) Hagen, Seebau II. p. 104.

3) Burat, Voyages Cap. IX.

4) Czerny, Wirkung des Windes p. 33.

5) Klöden, Handbuch der Erdkunde I. p. 31.

trifft dieselben noch jetzt, auch in ansehnlicher Entfernung vom Meer, als Hügelreihen durch das Land gestreckt.“

Die nähere Betrachtung der Einwirkungen des Windes auf den trockenen Strand gehört in das Gebiet des Dünenbaues. Erwähnt mag nur noch werden, daß die directen Einwehungen des Sandes vom Strande aus in Hafenbassins meist „nicht so groß sind, als man gewöhnlich glaubt“¹⁾, und nicht etwa zu Bauten Veranlassung geben dürfen, welche den Strand vorschieben würden.

2. Capitel. Wirkung künstlicher Einbaue auf den Küstensaum.

§. 12. Zweck der künstlichen Einbaue.

Im vorigen Capitel wurde ausgeführt, daß der sandige Küstensaum, welches auch der Ursprung seiner Bildungsmaterialien sein mag, im Allgemeinen in schlanken Curven regelmäßig sich gestaltet, selbst wenn das Ufer zerrissen und in Inseln aufgelöst ist. Wo umgekehrt vor glatten Küsten die Peilungslinien Unregelmäßigkeiten zeigen, muß eine Unterbrechung der Sandwanderung vorhanden sein, entweder ein Vorsprung, durch welchen der Küstentrom abgelenkt wird, oder eine Uferlücke, die von den transportirten Sänden nicht ausgefüllt werden kann, weil eine locale Erosionsströmung stets von Neuem die begonnene Vorschübung der Ablagerungen zerstört.

Der Zweck solcher künstlichen Vorsprünge ist entweder die Abhaltung gefährlicher Strömungen, oder die Ansammlung des vom Strande und dem höheren Lande abgebrochenen Sandes, oder der Schutz von Häfen. Anlagen erstgenannter Art benennt Hagen „Einbaue vor Aufsendeichen“, die der zweiten Art „Einbaue vor dem Strand“. Die dritte und wichtigste Gruppe nennt man allgemein „Hafendämme“ oder „Molen“. Die Einbaue vor Aufsendeichen in Verbindung mit Deckwerken werden nur dort errichtet, wo der Küstensaum in seiner regelmäßigen Gestaltung bereits verschwunden ist, und große Tiefen bis dicht an das Land treten, hauptsächlich in der Nähe von Flußmündungen. Einbaue vor dem Strand sollen die Ablagerung der vom höher gehenden Wellenschlag losgerissenen Materialien in den Zwischenräumen des Einbausystems dadurch ermöglichen, daß sie die Kraft der Küstenströmung brechen und die Fortführung der gelockerten Geschiebe verhindern. Die Erhaltung des Vorstrandes ist von höchster Wichtigkeit für die Bildung der Vordüne, deren sorgfältige Erhaltung als bester Küstenschutz erscheint. Die Sturmfluth vom November 1872 lieferte an der deutschen Ostseeküste vielfache Beweise für den großen Nutzen der dort üblichen leicht gebauten Werke.²⁾ Während der Fuß des Hochufers, bezw. der Vordünen überall vor dem Anprall der Wellen zurückwich, hat der Strand fast durchweg, und streckenweise sehr bedeutend, wo Einbaue die Anlandung der abgebrochenen Massen erleichterten, an Breite zugenommen. Man führt jedoch solche Anlagen nicht allein zur Gewinnung von Vorstrand, sondern zuweilen nur deshalb aus, um treibende Kiesmassen daran zu hindern, daß sie in Hafenmündungen treten.³⁾ Namentlich an den Ufern des Canals La Manche hat man, sowohl auf der französischen wie auf der englischen Seite, mehrfach dieses Mittel zu jenem

Zwecke angewendet. Jeder derartige Einbau muß früher oder später die Aufhöhung des Strandes bis zur Krone, welche nicht allzuhoch über denselben hervorragen darf, zur Folge haben. Das gleichmäßige Vorschreiten des Ufers ist nur dadurch möglich, daß stets ganze Systeme von Einbauen, welche sich alsdann in ihrer Wirkung gegenseitig unterstützen, in Anwendung kommen. Wenn dies nicht der Fall wäre, wenn nur ein einziger Einbau in den Strand vorgestreckt würde, so könnte nur eine locale Vorrückung desselben erfolgen, beiderseits mit flachen Concaven in die allgemeine Uferrichtung zurückgehend. In einiger Entfernung vom Einbau wird dagegen ein Angriff des Ufers stattfinden müssen durch die Widerströme, welche der Vorsprung veranlaßt. Mit den Schutzmitteln gegen diesen Angriff in allzu großer Nähe des Einbaues vorzugehen, würde die Vorrückung des Strandes beschleunigen.¹⁾

Die Hafendämme und Einfahrtsmolen sind derartige isolirte Einbaue, bei welchen freilich nur auf der dem Küstenstrom entgegen gerichteten Seite die Erscheinung zur ungestörten Ausbildung gelangt, während auf der stromab gelegenen die Einwirkung des Spülstroms wesentliche Modificationen verursacht.²⁾ „Jeder unserer Hafendämme ist, wenn auch zu ganz anderem Zwecke erbaut, dennoch wesentlich nichts anderes als ein solcher buhnenartiger Einbau in die See, und jeder derselben wirkt auch als ein solcher. Der an der deutschen Ostseeküste von W. nach O. gerichteten Strömung entsprechen vollständig die Sandablagerungen zur Seite der Häfen. Vor Swinemünde, Colbergmünde, Rügenwaldermünde und Stolpmünde tritt der Strand auf der westlichen Seite bedeutend weiter vor als auf der östlichen. Bei Pillau giebt sich dieselbe Erscheinung zu erkennen.“ Diese Thatsache zeigt sich überall an sand- und kiesführenden Küsten in so gleichmäßiger Weise, daß es unnütz wäre, weitere Beispiele anzuführen. Man ist allenthalben, in Frankreich, England und Italien, wie in Deutschland zu der Ansicht gekommen, daß eine Verlängerung der Hafendämme niemals von dauerndem Nutzen gegen die Nachteile der Sandwanderung sein kann, daß jede Vorschübung eines Einbaues allmählig den Strand an dieser Stelle um eben so viel vorschübt.

Auch da, wo man den Hafendamm bis in solche Tiefen vorgetrieben hat, welche außerhalb der Wirkungssphäre der Küstenwanderung liegen, hat sich ein bleibender Gewinn nicht erzielen lassen. Der Admiralitäts-Pier in Dover z. B. wurde senkrecht zum Ufer bis zur 14 m-Linie vorgebaut, weil man annahm, daß die von W. ankommenden Kiesmassen, welche sich stets am oberen Rande des Strandes halten, den Molenkopf, wenn er in diese Tiefe vorgestreckt wäre, nicht würden umwandern können. Bis zu etwa 10 Jahren nach Fertigstellung des Piers blieb auch wirklich die Westküste vollständig frei.³⁾ „Jedoch sind diese günstigen Ergebnisse ganz außergewöhnlichen localen Verhältnissen allein zu verdanken. Einestheils wurden beim Bau beträchtliche Mengen Kies für die Anfertigung künstlicher Blöcke vom Strande entnommen; andererseits ist die Küste bis Folkestone hin an vielen Stellen zum Schutz der Eisenbahn künstlich befestigt, so daß sie seit lange nur noch geringe Materialmassen durch

1) Hagen, Seebau II. p. 370.

2) Baensch, Die Sturmfluth etc. Zeitschr. f. Bauwesen 1875.

3) Hagen, Seebau II. p. 66.

1) Hagen, Seebau II. p. 370.

2) Hagen, Seebau II. p. 74.

3) Voisin-Bey, Les Ports de mer p. 66.

Abbrutschungen liefert; endlich halten die Bauten in Folkestone selbst die von weiterher kommenden Kiesel auf.“ Allein schon von 1873 an beginnt die Verlandung vorzuschreiten,¹⁾ besonders durch Ansammlung von Kiesbänken vor der Mitte des Hafendamms. In den 4 Jahren 1873 bis 1876 betrug nach Maafsgabe der Peilungspläne das Volum aller Auskolkungen beiderseits der Mole 47500 cbm, dagegen das Volum der Alluvionen 407000 cbm, also $8\frac{1}{2}$ mal überwiegend.²⁾ „Wenn die Wanderung einigermassen beträchtlich ist, so läßt sich das stetige Vorschreiten des Strandes um das Hindernis herum, welches die Wanderung der Sinkstoffe aufhält, nicht vermeiden. Und wie groß auch die Länge des Werkes sein möge, jedenfalls muß der Augenblick kommen, wo der Meeresgrund auch an seinem äußersten Ende sich erhöht.“ Der dicht neben Dover liegende Hafen von Folkestone wurde, wiewohl die Mole bis in Tiefen von 4 bis 5 m unter Niedrigwasser vorgebaut war, schon bald nach seiner Vollendung bedroht, weshalb man ein System von Buhnen westlich des Hafens, mit einem großen Sporn, der den Winkel zwischen Küste und Pier halbiert, abschließend, anzulegen gezwungen war. Doch auch diese Werke genügen nicht und werden in absehbarer Zeit eine Verlängerung des Hafendamms, wenn man nicht zu anderen Mitteln greifen will, erforderlich machen.

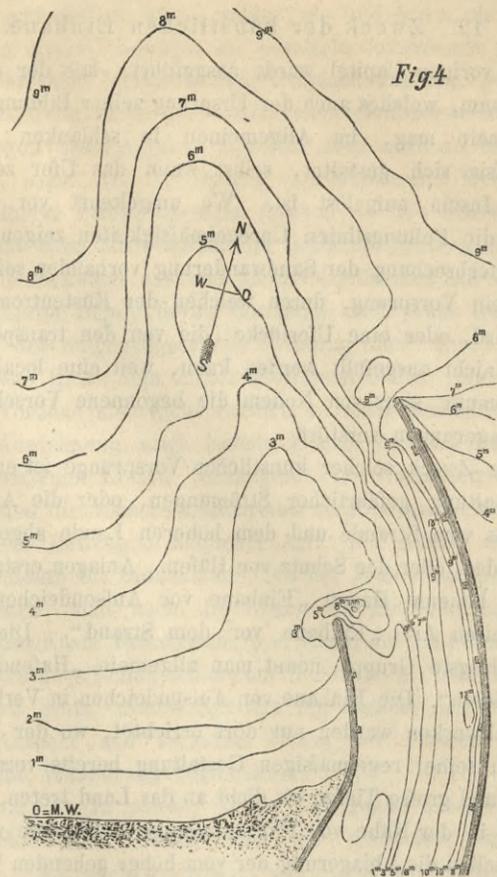
Man läßt sich öfters durch locale Erscheinungen zum Glauben verleiten, jenes allgemeine Gesetz könne Ausnahmen erfahren. Als Beispiele werden solche Molen angeführt, welche in Einbuchtungen erbaut sind, denen der Küstenstrom nicht folgt (Neufahrwasser), oder die vom kräftigen Wellenschlag nicht erreicht werden (Mündung des Canals Saint-Louis, Bouches du Rhône), oder wo der in die Bucht eingeführte Sand vor Erreichung der Molen zur Ablagerung gelangt (Kingstown). Da in allen diesen Fällen eine der Ursachen, durch deren Zusammenwirken die Bewegung der Küstengeschiebe veranlaßt wird, fehlt, so bestätigen diese scheinbaren Ausnahmen nur die Regel, daß jeder künstliche Einbau in den beweglichen Küstensaum, wenn nicht eine starke Erosionsströmung dies verhindert, die Vorwanderung des Strandes zur Folge hat.

§. 13. Inclinante Einbaue.

Wiewohl der Zweck ein völlig anderer, haben die Einbaue vor dem Strand doch manche Aehnlichkeit mit den Buhnen eines Binnenstroms. Auch die Verhältnisse, unter welchen die Anlage erfolgt, bieten gewisse Analogieen. Es erscheint daher wohl gestattet, aus den Erfahrungen mit Flußbuhnen Rückschlüsse zu ziehen. Bekanntlich eignet sich die gegen den Strom inclinante Richtung derselben am besten, die declinante dagegen weniger gut zur Erzeugung von Alluvionen. Wie weit bei Seebuhnen dies der Fall sein würde, ist durch Erfahrung noch nicht festgestellt, da dieselben in neuer Zeit fast ausnahmslos rechtwinklig, früher wohl auch zuweilen declinant angelegt worden sind.³⁾ „Bei Einbauen im Meer kann man in vielen Fällen die senkrechte Richtung als die vortheilhafteste wählen, jedoch dürfte eine wenig inclinante Richtung, wobei der Einbau der stärksten Strö-

mung entgegengerichtet wird, unter Umständen doch vielleicht vortheilhaft sein.“

Wenn aber für Buhnen, welche bekanntlich den Strand vorschieben sollen, die inclinante Richtung zu empfehlen ist, so würde daraus folgen, daß sie für Hafendämme, bei welchen gerade im Gegentheil jede Vorschubung des Strandes unerwünscht erscheint, vermieden werden sollte. Die Einfahrt von Swinemünde ist in dieser Beziehung ein lehrreiches Beispiel. Wenn sie trotz der inclinanten Molen bedeutende Tiefen aufweist, so ist dies der kräftigen Spülung



zuzuschreiben. Die Form der Tiefenlinien (Fig. 4) zeigt nur zum Theil solche Wirkungen, wie sie erfahrungsmäßig bei inclinanten Buhnen vorkommen. Die kürzere Westmole wird von den Sänden umwandert, welche die Joachimsfläche immer mehr ausdehnen und aufhöhen; ebenso hat sich hinter der Ostmole der Strand regelrecht wie bei Strombuhnen ausgebildet. Vor der Westmole sind jedoch die Sandbänke bis weit ins Meer vorgeschoben, was theilweise der ausgehenden starken Strömung anzurechnen ist. Die Wellen, welche bei herrschenden Westwinden in den linksliegenden toten Winkel eingeworfen werden, fließen längs der äußeren Seite der Westmole ab; das rückstömende Wasser erlangt aber erst Erosionskraft an der Stelle, wo es mit den frei vom hohen Meer ankommenden Wellen zusammenstößt, also am Molenkopf; dort hat denn auch die gemeinsame Erosionswirkung einen tiefen Kolk erzeugt. Die annähernd östlich gerichteten Wassermassen stoßen alsdann auf den nahezu nördlich gerichteten Spülstrom und drängen denselben gegen die innere Seite der Ostmole, an welcher sich constant größere Tiefen halten. Diese Tendenz wird auf dem freien Ende des rechtsseitigen Hafendamms durch die von hoher

1) Ploix, Reconnaissance de Boulogne.

2) Voisin-Bey a. a. O.

3) Hagen, Seebau II. p. 55.

See nordwestlich anprallenden Wellen immer noch mehr verstärkt. Hinter dem Molenkopf, wo die Strömung ihre Führung verliert, folgt sie der aus ihrer eigenen und der Wellengeschwindigkeit resultirenden Richtung, annähernd Nordost, gerade wie sich bei inclinanten Bühnen ein die Flusssaxe schräg schneidender, stromab gerichteter Kolk zu bilden pflegt. ¹⁾ „Das Material zu der in Verlängerung der Westmole liegenden Bank liefert in der Hauptsache unzweifelhaft die Ostsee selbst, und trägt das ihrige dazu bei, die Mündung weiter in die See vorzuschieben, während die mit den Oderfluthen stromabwärts schwimmenden Sinkstoffe das Haff aufnimmt. — Die Veranlassung zu der unterhalb und westwärts der Westmole sich bildenden Anhäuerung muß in der Meeresströmung, welche bei den in dieser Gegend herrschenden West- und Nordweststürmen sich am Strand in dieser Richtung hinzieht, hauptsächlich gefunden werden.“ Das weite Vortreten der Sandbank ins Meer erklärt sich erstens aus dem Zusammenstoß der von hoher See ankommenden Wellen mit dem sandführenden, von den inclinanten Molen abgelenkten Küstenstrom, zweitens aus der reichhaltigen Zuführung des in die Mündung eingetriebenen Sandes durch die intensive ausgehende Strömung. Sucht man die Wirkungen vom Küstenstrom einerseits, von Wellen und Spülstrom andererseits zu trennen, so findet sich, daß der Küstenstrom ähnliche Effecte verursacht, wie bei inclinanten Flusbühnen die geschiefeführende Flufsströmung.

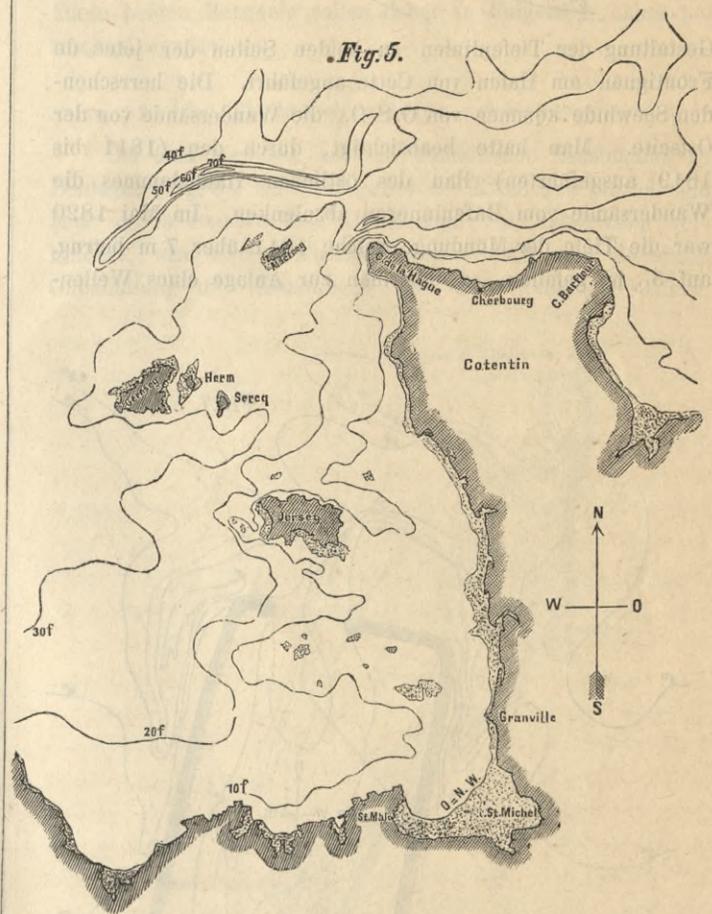
Die Küstenströmung, welche den Einbau, mag derselbe inclinant, declinant oder senkrecht gerichtet sein, umgehen muß, kann dies in keiner kürzeren Krümmung wie ein Flußlauf thun. Die Trägheit der gewaltigen Wassermasse bewirkt eine langsame und allmähliche Ablenkung, welche aus der allgemeinen Stromrichtung sich dem Kopfe des Werks zuwendet. In dem todtten Dreieck findet, so weit der Schutz des Einbaus reicht, Ablagerung, also Vortreiben der Tiefenlinien nach See zu, statt. Da aber die Neigung des Seegrundes im Sandgebiet nach der Wellengröße und der Strömungsintensität sich richtet, die Ablenkung der Strömung dagegen im großen Ganzen auf die Neigung einflußlos ist, so wandern sämtliche Tiefenlinien bis in eine von localen Verhältnissen abhängige Entfernung vor. Bei Stolpmünde macht sich z. B. die Unterbrechung bis zu einem Abstand von der Küste, welcher annähernd gleich der vierfachen Molenlänge ist, bemerklich. Die Ablagerungen an der Westseite haben also gleichzeitig eine Vortreibung der Verflachungen seawärts jenseits des Kopfes im Gefolge. Die Größe derselben, also die Schärfe der Ablenkung hängt einerseits von der Geschwindigkeit der Küstenströmung, andererseits von der Form des Einbaus ab; sie wächst, sobald die Strömung schwächer wird, weshalb umgekehrt bei starken Stürmen aus der Herkunftsrichtung des Wandersandes die Verlandungen nach dem Lande hin zurückweichen. Andererseits werden die Sandablagerungen um so weniger weit in See vortreten, je sanfter und allmählicher durch die Form des Einbaus eine Ablenkung der dicht neben der Küste strömenden Wasserfäden und deren Umleitung in die allgemeine Richtung veranlaßt wird.

Neben dieser Richtungsveränderung der sandführenden Wassermassen verursacht jeder Einbau noch eine zweite Be-

wegung, nämlich einen Rücklauf der in das todtte Dreieck auf der Strömungsseite eindringenden Wellen längs der Bühne oder längs des Hafendamms. Je stärker der Wellenschlag und je mehr normal die Windrichtung zum Strand, um so kräftiger ist jener Rücklauf. Er geht jedoch keineswegs senkrecht zum Strand vor sich, sondern die zurückströmenden Wassermengen werden durch den Küstenstrom gegen die äußere Seite des Einbaus getrieben. Dieselbe bildet sonach gewissermaßen die Sammelrinne für das vom Strande schräg abfließende Wasser, dessen Masse sich natürlich nach dem Meer zu immer mehr vergrößert, so daß der Schlauch, den jene Localströmung sich auswählt, seawärts beträchtlich weiter und tiefer wird.

§. 14. Senkrechte Einbaue.

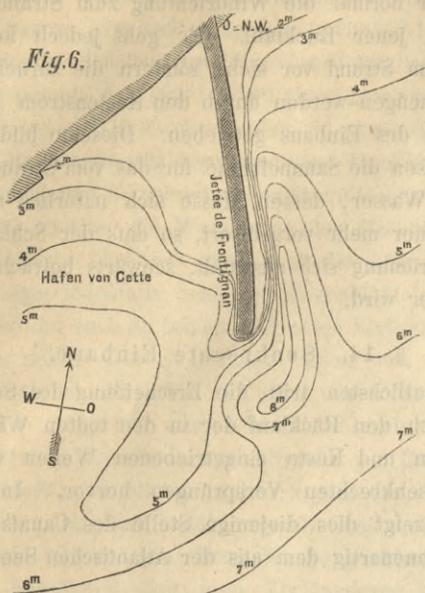
Am deutlichsten tritt die Erscheinung des Schlauches, welcher durch den Rücklauf der in den todtten Winkel zwischen Einbau und Küste eingetriebenen Wellen verursacht wird, bei senkrechten Vorsprüngen hervor. In großem Maßstabe zeigt dies diejenige Stelle des Canals, wo das Cotentin buhnenartig dem aus der Atlantischen See kommen-



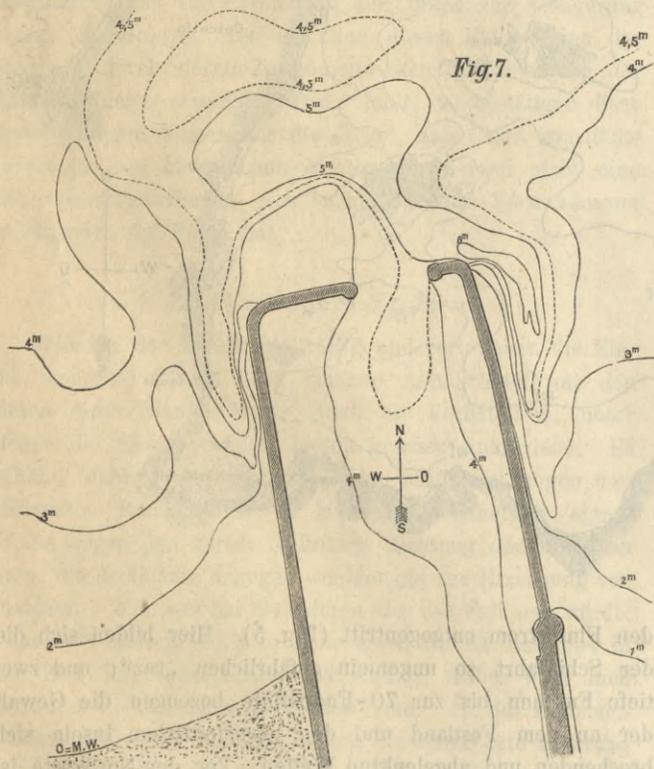
den Fluthstrom entgegentritt (Fig. 5). Hier bilden sich die der Schifffahrt so ungemein gefährlichen „raz“; und zwei tiefe Furchen bis zur 70-Fadenlinie bezeugen die Gewalt der an dem Festland und den normannischen Inseln sich brechenden und abgelenkten Wellen. Vor der Nordküste ist die durch das englische Ufer eingezwängte Strömung zu stark, als daß sich Ablagerungen bilden könnten. Hinter dem Cap Barfleur geht jedoch, während die Küste selbst scharf zurückspringt, die 20-fathoms-Linie in sanfter Krümmung nach den Kreidefelsen der Basse-Normandie hinüber.

1) Herr, Der Oderstrom und seine Ausflüsse. Zeitschrift für Bauwesen 1864 p. 367.

Der beschriebene Schlauch zeigt sich mehr oder weniger scharf ausgebildet bei allen senkrechten oder schwach geneigten Molen. Als Beispiel sei zunächst die in Fig. 6 dargestellte



Gestaltung der Tiefenlinien zu beiden Seiten der jetée de Frontignan am Hafen von Cette angeführt. Die herrschenden Seewinde kommen von O. S. O., die Wandersände von der Ostseite. Man hatte beabsichtigt, durch den (1811 bis 1819 ausgeführten) Bau des östlichen Hafendammes die Wandersände vom Hafenerinneren abzulenken. Im Mai 1820 war die Tiefe der Mündung, welche 1811 über 7 m betrug, auf 5,5 m gefallen, so daß man zur Anlage eines Wellen-



brechers, in dessen Schutz die Offenhaltung der Einfahrt durch Baggerung erfolgt, genöthigt wurde. — An den Hafendämmen zu Stolpmünde tritt der Schlauch beiderseits auf (Fig. 7), da die herrschenden Winde von der West-, die

stärksten Stürme jedoch von der Ostseite kommen. Die Sandführung ist von Westen her bedeutender, weshalb auf dieser Seite der Schlauch geringere Tiefen hat. Die Mündungsbank schreitet jenseits desselben seewärts vor und würde die Hafenmündung schliessen, wenn nicht die Ausströmung einerseits, die an dem zur Küste parallelen Theil der Hafendämme ricochetirten Wellen andererseits nordöstlich und nordwestlich tiefere Rinnen offen hielten. Jenseits des Wirkungsbereichs der Spülströmung lagert sich der vom Küstenstrom vorbeigeführte Sand, welcher in weitem Bogen die Hafenmündung passiren muß, theilweise als Bank ab.

Aehnlich im allgemeinen Verlauf ist der Vorgang bei allen denjenigen Hafeneinfahrten, deren Schutzdämme senkrecht zur Küste errichtet sind, wiewohl er je nach Stärke und Sandreichthum des Küstenstroms, nach Richtung und Intensität der herrschenden Winde und der stärksten Stürme in den Einzelercheinungen sehr verschieden auftreten muß. ¹⁾ „Einestheils erleidet die Strömung, welche von dem nach der Herkunftsseite zu gerichteten Hafendamm abgelenkt wird und viele Sinkstoffe mit sich führt, sobald sie senkrecht auf den Küstenstrom, welcher nicht abgelenkt wurde, trifft, eine Geschwindigkeitsabnahme. Dieselbe bewirkt Ablagern eines Theiles jener Sinkstoffe und die Bildung einer Bank in der Verlängerung des Einbaus, deren allmähiges Vorwachsen im Sinne der Küstenstrom-Richtung erfolgt. Andererseits erfährt der vom hohen Meere hinzukommende Strom, welcher die noch nicht zur Ablagerung gelangten Sinkstoffe in den durch jene Verlandung und den Einbau selbst geschützten stillen Raum treibt, einen bedeutenden Stau, der seinerseits an jener Stelle eine Sandbank veranlaßt.“ Durch die Vereinigung dieser beiden Bänke entsteht schliesslich rings um den Kopf des Einbaus und jenseits desselben eine compacte Vorwanderung der Verlandungen, wie sie sich diesseits, d. h. nach der Herkunftsrichtung des Küstenstromes zu, gleich anfangs bilden wird. An den Hafeneinfahrten von Dunkerque, Gravelines, Calais, kurz an allen Häfen der französischen Canalküste, welche mit parallelen, nahezu senkrecht zur Küste gerichteten Molen versehen sind, hat man dieselbe Erfahrung gemacht: Die Niedrigwasserlinie ist fast überall bis zum Kopf der Molen und darüber hinaus, nach der Küstenstrom-Herkunft zu weiter als auf der entgegengesetzten Seite, vorgerückt; und die Sandbänke, welche man durch Spülung der Einfahrt stets wieder künstlich zerreißt, würden längst die Continuität der Strandlinie vor den Molenköpfen herbeigeführt haben, wenn jene Gegenwirkung dies zuliesse.

§. 15. Declinante Einbaue.

Unwillkürlich führt die seitherige Entwicklung zu der Ansicht, daß diejenige Richtung eines Einbaus, welche den Strand am wenigsten weit vorschiebt, die zur Strömung declinante sein müsse, während als beste Form des declinanten Einbaues die gegen das Meer zu convexe erscheint, vorausgesetzt, daß das äußere Ende dem Ufer parallel läuft. ²⁾ „Bei dieser Anordnung werden die Sinkstoffe, welche bei ruhiger See sich niederschlagen und das Ufer vorzurücken bestrebt sind, da sie längs der äußeren Molenseite durch den Rückprall der bei Sturm von hohem Meer gegen

1) Voisin-Bey, Les Ports de mer.
2) Voisin-Bey, Les Ports de mer.

den Hafendamm schlagenden Wellen aufgewühlt werden, sobald bewegte See eintritt, durch den dann lebhafteren Küstenstrom weggeführt, so daß man die Aufhöhung des Grundes und Verschiebung des Ufers weit weniger zu fürchten braucht. Da außerdem der längs dem Einbau hingleitende abgelenkte Küstenstrom dieselbe Schlußrichtung hat wie der nicht abgelenkte Theil, wird weniger Geschwindigkeitsverlust beim Zusammentreffen der beiden Strömungen, also auch weniger Ablagerung erfolgen und somit eine größere Quantität der Sinkstoffe weiter geführt werden, während ein kleinerer Theil freilich innerhalb des geschützten Raumes sich niederzulagern bestrebt ist. — Abgesehen von diesem Vorzug bietet die convexe Molenform den wesentlichen Vortheil, daß sie den rückwärts gelegenen Strand allen von hoher See kommenden Wellen zugänglich läßt, so daß die Sinkstoffe, welche von denjenigen starken Stürmen zurückgetrieben worden sind, die aus der, den herrschenden Winden entgegengesetzten Richtung wehen, bei ruhigerem Meer durch die gewöhnlichen Strömungen und Rückprallwellen in größere Tiefen gebracht werden.“

Die Halbinsel Hela zeigt z. B., wie sich im Schutz eines declinanten und convexen Einbaus die Wandersände, welche von der Strömung nicht direct weiter geführt werden, ablagern und die Concave allmählig ausfüllen müssen. Die Vergleichung mit einem künstlichen Einbau läßt sich jedoch nur auf diesen einzigen Punkt anwenden, da jener molenartige Vorsprung vollkommen in der Richtung des Küstenstroms liegt und demselben seinen Ursprung verdankt.

Mehrere englische Häfen, z. B. Lowestoft, Kingstown, auch Sunderland, wo jedoch die Molenform nicht convex, wiewohl die Richtung declinant ist, und Ramsgate, wo freilich durch einen vorgebauten Sporn die Wirkung sehr beeinträchtigt wird, sind nach dem angeführten Princip erbaut; auch die Tynemündung hat ähnlich geformte Molen erhalten. In Frankreich ist nur der kleine Nothhafen Port-en-Bessin anzuführen, in Deutschland der pommersche Hafen Rügenwaldermünde, und in Holland Ymuiden.

Da hier einstweilen nur von der Wirkung eines einzelnen gegen die Herkunftsrichtung der Küstenströmung declinanten Einbaus auf die Gestaltung des Strandes gesprochen werden soll, mag es vorläufig genügen zu constatiren, daß fast sämtliche, in dieser Weise angelegten Häfen starken Versandungen in den Bassins ausgesetzt scheinen. Es erklärt sich dies aus folgenden Ursachen: Einmal wird bei Tidehäfen der Küstenstrom während der Fluth theilweise in den Hafen abgelenkt, wo in dem verhältnißmäßig ruhigen Wasser die Sinkstoffe sich ablagern müssen; sodann werden die Stürme von hoher See zum großen Theil die Einfahrt derart treffen, daß sie gleichfalls die sand- und schlickführenden Wassermassen der Küstenströmung in den geschützten Raum eintreiben, wo starke Baggerungen zwar leichter erfolgen können wie in See, dafür aber auch in größtem Maaßstab vorgenommen werden müssen. In Ymuiden und Ramsgate begnügt man sich daher damit, im Bassin eine Fahrrinne frei zu halten, welche in den eigentlichen Hafen führt. Die Verlandung der seitlich gelegenen Theile des Bassins läßt man ruhig gewähren, da ihre Wegschaffung zu große Geldopfer verursachen würde.

Was nun die Gestaltung des Strandes außerhalb der declinanten convex gekrümmten Molen anbelangt, so wird

ein Vorwandern sich schwerlich vermeiden lassen, wenn es auch langsamer erfolgt, als dies bei anders geformten Einbauten der Fall sein würde. Die Ausbildung der schlauchartigen Rinnen, welche die aus dem toten Winkel zurückfließenden Wassermassen auf der Außenseite der convexen Mole erzeugen, ist weniger stark, aber deutlich bemerkbar, wie ein Blick auf die Peilungspläne von Ymuiden (Fig. 9) und Rügenwaldermünde (Fig. 15) zeigt. Doch können die bedeutenden Tiefen an dieser Stelle den weiteren Verlauf der Versandung keinesfalls verhindern. Die Einfahrt wird sich schließlich vollkommen mit Sand verstopfen, wenn nicht kräftige Spülung und unausgesetzte Baggerung dies verhindern, oder wenn nicht eine sehr intensive Erosionsströmung, welche durch locale Verhältnisse bedingt ist, die Bildung von Ablagerungen unmittelbar an dem Hafeneinmunde unmöglich macht.

Der neue Hafen von Boulogne bietet ein Beispiel für den letztgenannten Fall. Der Hafen von Ymuiden dagegen beweist, daß an flachen Sandküsten, wenn solche locale Erosionsströmungen nicht vorhanden sind, die Vorwanderung des Küstensaumes in der beschriebenen Weise erfolgen muß. Diese beiden Beispiele sollen daher in Folgenden näher betrachtet werden.

§. 16. Tiefwasser-Hafen zu Boulogne.

Bei dem zur Zeit im Bau befindlichen Bassinhafen zu Boulogne (Fig. 8), wo die parallel der Küste sich hinziehende banc de la Bassure den Küstenstrom am Ausweichen verhindert, wird aller Wahrscheinlichkeit nach eine dauernde Offenhaltung der Mündung, auch ohne künstliche Mittel,

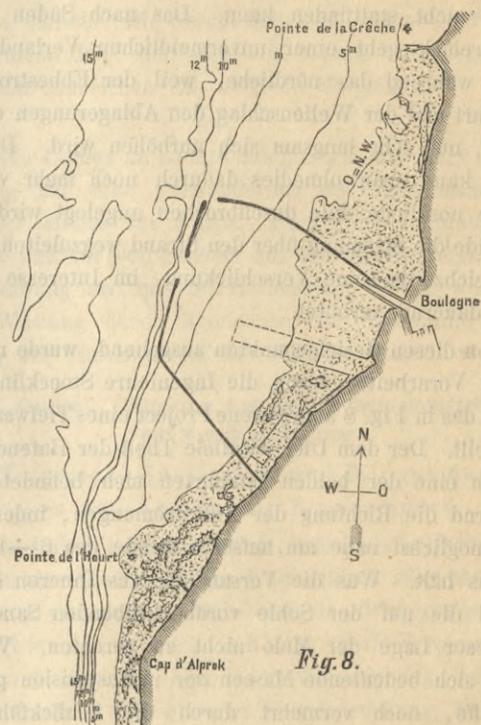


Fig. 8.

möglich sein. Der Meeresgrund fällt dort vom Ufer aus in 3 Terrassen zu dem tiefen Schlauch ab, welcher dasselbe von jener Bank trennt. Die höchstliegende geneigte Fläche hat an ihrem unteren Rande etwa 3 m Tiefe, das zweite Plateau 6—8 m, das dritte 12—13 m, der Schlauch selbst

über 16 m.¹⁾ Diese eigenthümliche Bildung läßt sich wohl nur so erklären, daß die Küste bis in die größte Tiefe aus wild zerklüfteten Felsen besteht, deren Schluchten und Schründe die sandführende Küstenströmung ausgefüllt hat. Auf dem Strande treten überall Zacken und Felsnasen zu Tage. Und die banc de la Bassure, etwa 4 km vom Festlande entfernt, erscheint als ein besonders widerstandsfähiger Ueberrest der Landenge, welche früher den Continent mit Großbritannien verband.

Die von Westen her in den Pas de Calais eindringende atlantische Fluthwelle ruft starke alternirende Strömungen hervor, welche bis zu 1,50 m Geschwindigkeit annehmen und vor den Uferspitzen keine bleibenden Ablagerungen aufkommen lassen. Die Küste bildet zwischen den beiden Vorsprüngen der Forts de l'Heurt und de la Crèche eine sanfte Concave, welcher die allgemeine Richtung der Tideströmungen nicht folgt. Würde man einen geradlinigen Damm zwischen jenen beiden Punkten errichten, so könnte eine Verlandung vor demselben nicht stattfinden, weil die Geschwindigkeit der Küstenströmung, die eine Ablenkung nicht erfährt, zu bedeutend ist. Die von Süden herbeigeführten Sandmassen müßten, ohne sich ablagern zu können, jenseits der pointe de la Crèche weiter wandern. Jeder vor jene Linie vortretende Damm wird auf der Seeseite noch weniger Veranlassung zu Sandablagerungen geben können, sondern im Gegentheil starkem Angriffe ausgesetzt sein. Wenn man einen derartigen, zum Ufer parallelen Damm durch Quermolen mit der Küste verbindet, so wirkt der ganze Vorbau als Bühne mit Erosionsströmung vor dem Kopfe. In seiner Nähe werden die Ablagerungen zu beiden Seiten allmähig vorwandern, während vor dem Seeende eine Verlandung nicht stattfinden kann. Das nach Süden gelegene todte Dreieck geht einer unvermeidlichen Verlandung entgegen, während das nördliche, weil der Ebbestrom wenig Sand führt und der Wellenschlag den Ablagerungen entgegenarbeitet, nur sehr langsam sich aufhöhen wird. Diese Aufhöhung kann man ohnedies dadurch noch mehr verzögern, daß die nördliche Mole durchbrochen angelegt wird, um bei jeder Tide die Strömung über den Strand wegzuleiten, wodurch man gleichzeitig seine Verschlickung, im Interesse der Seebäder, dauernd verhütet.

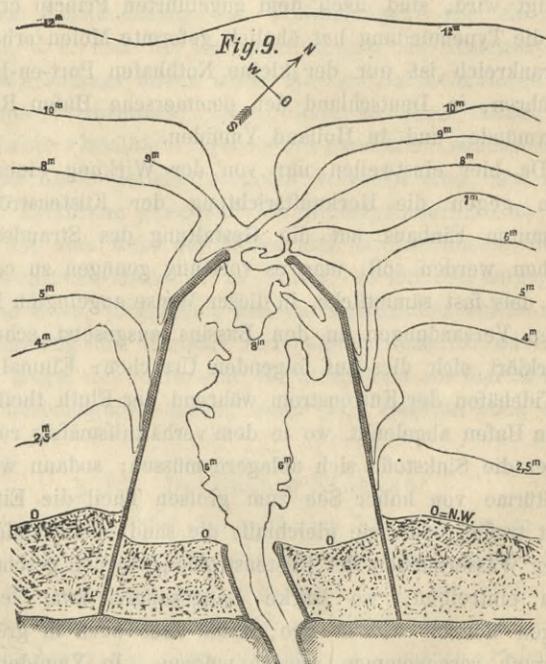
Von diesen Gesichtspunkten ausgehend, wurde nach sorgfältigen Vorarbeiten durch die Ingenieure Stoecklin und Laroche²⁾ das in Fig. 8 angegebene Project eines Tiefwasserhafens aufgestellt. Der dem Ufer parallele Theil der Hafendämme, in welchem eine der beiden Einfahrten sich befindet, verfolgt annähernd die Richtung der Tideströmungen, indem er sich dabei möglichst nahe am äußeren Rande des 6—8 m tiefen Plateaus hält. Was die Versandung des Inneren anbelangt, so sind die auf der Sohle vorübertreibenden Sandkörnchen bei dieser Lage der Mole nicht zu fürchten. Wohl aber werden sich bedeutende Massen der in Suspension gehaltenen Sinkstoffe, noch vermehrt durch die Schlickführung der Liane, im Hafen ablagern. Man hat die jährlich durch Baggerung zu beseitigenden Ablagerungen auf ca. 40000 cbm geschätzt.³⁾ Die in Ausführung begriffene Anlage wird,

aller Wahrscheinlichkeit nach, erfolgreich sein. Aber man beachte wohl — die Küste von Boulogne ist, obschon im Sandgebiet gelegen, keine flache Sandküste. —

§. 17. Tiefwasser-Hafen zu Ymuiden.

Wenn solch intensive Küstenströmung, welche durch eine vor der Küste liegende Felsenbank am Ausweichen verhindert wird, nicht vorhanden ist, so kann die energischst betriebene Baggerung allein einen Hafen, welches auch die Form seiner Molen sein mag, schwerlich rein halten, falls derselbe im Gebiete der Wandersände erbaut ist. Sogar im Bassin von Kingstown, das an felsiger Küste ohne eigentliche sandführende Uferströmung liegt, hat sich eine Sandbank dicht bei der Einfahrt abgelagert, welche offen gebaggert werden muß. Obgleich dieser Hafen öfters als Musteranlage für die Anordnung der Molen im Sandgebiet bezeichnet wurde, darf er hier überhaupt nicht als Beispiel angeführt werden, weil ein beweglicher Küstensaum im Wirkungsbereiche seiner Molen nicht vorhanden ist. Fast alle Häfen des römischen Alterthums, welche an Flachküsten in Bassinform erbaut waren, haben sich im Laufe der Zeit vollkommen ausgefüllt, und ihre Lage ist kaum noch zu erkennen.

1) „Um nun zu einem anderen Beispiel überzugehen, dem Hafen von Ymuiden, der ganz neuerdings nach dem Typus von Kingstown erbaut wurde, jedoch an sehr flacher Sandküste mit relativ schwachen Tideströmungen, also in weit weniger günstigen Verhältnissen, so läßt sich das Bedenken nicht unterdrücken, der neue Hafen möchte sich schlechter bewähren als der, nach dessen Muster er angelegt wurde, mit andern Worten: man muß befürchten, daß er,



auf die natürlichen Kräfte allein angewiesen, seine Tiefen nicht lange wird behalten können.“ Nach Waldorps²⁾ Darstellung zeigen sich an den Molen folgende Vorgänge: Der durch den buhnenartigen Vorsprung der südlichen Mole (Fig. 9)

1) Ploix, Reconnaissance de Boulogne.

2) Stoecklin et Laroche, Des ports maritimes pp.

3) Ploix, Reconnaissance de Boulogne.

1) Voisin-Bey, Les Ports de mer.

2) Waldorp, Zeehaven voor den Haag. Notulen van het Kglk. Inst. v. Ing. 1878/79 p. 33.

abgelenkte Fluthstrom veranlaßt in einigem Abstände vom Hafeneingang die Bildung eines Widerstromes und in dessen Folge einer Sandbank. Der Ebbestrom wirkt in derselben Weise. Da jedoch der erstere weit stärker ist, so werden sich die Ablagerungen vorzugsweise auf der Nordseite des Hafens zeigen. Wenn dieselben nun zwar auch durch den Ebbestrom in gewissen beschränkten Grenzen gehalten werden, so geben sie doch, namentlich bei heftigen Nordweststürmen, zu Brandungen Anlaß, welche, ohne zwar die Einfahrt selbst zu gefährden, insofern störend wirken, als sie das eigentliche, vom Hafemund beherrschte Seegebiet schmälern, dessen Form nördlich des Hafens durch eine zur Hafenaxe schräge Linie begrenzt wird. Da ferner die beiden Molen zwischen ihren Köpfen die Einfahrt frei lassen, macht sich noch eine zweite secundäre Ablenkung an der dem Fluthstrom zugekehrten Seite bemerklich, welche da, wo der, längs der Mole streichende Strom dieselbe verläßt, einen Kolk verursacht, dessen Tiefe um so größer ist, je unvermittelter diese Ablenkung vor sich geht. Waldorp hat für Scheveningen, bzw. den Haag eine Hafenanlage projectirt, welche im wesentlichen mit Ymuiden übereinstimmt, sich aber unterscheidet durch andere Form der „Seeenden“ beider Molen. An letzterem Hafen sind dieselben geradlinig nach aufsen gegen einander convergirend angelegt und bilden einen Winkel von 90° unter sich, von 45° mit dem Küstenstrom. Dagegen soll in Scheveningen die äußere Endigung abgerundet sein, so daß die an den Köpfen anliegenden Tangenten Winkel von etwa 24° mit dem Strome bilden. Hierdurch glaubt der Verfasser jenes Projects, weil die Ablenkung eine geringere ist, die nördliche Sandbank weiter landwärts drängen zu können, ja er hofft, dieselbe würde nicht über eine zur Küste parallele Linie hinausschreiten. Ferner beabsichtigt er, da auch die secundäre Ablenkung eine geringere sein wird, die Tiefe des Kolks zu vermindern.

In einer Versammlung des Koninklijk Instituut van Ingenieurs, welche am 8. April 1879 stattfand, wurden durch den bauleitenden Ingenieur des Hafens Ymuiden, Herrn Dirks, mehrere Einwände gegen Waldorps Project und gegen die Anlage declinanter Molen überhaupt erhoben. Er machte besonders auf den Nachtheil aufmerksam, daß in Ymuiden die längs der Südmole concentrirte Strömung dort nutzlose Tiefen erzeugt und den aufgewühlten Sand gegen den Kopf der Nordmole treibt, wo ständige Baggerungen sich erforderlich zeigen. Vermuthlich rührt jedoch ein großer Theil dieser Ablagerungen von der Ebbestromung her. Jene, nach der früheren Ausführung, vom Abfluß der in den toden Winkel eingetriebenen Wellen hervorgebrachte Strömung verhindert keineswegs die allmälige Ausfüllung dieses toden Winkels, welche gleichzeitig vom Strande aus und durch Vergrößerung der von den Widerströmen verursachten Sandbänke vorwärts schreitet. Die Neigung des Seegrundes im Sandgebiet ist je nach den örtlichen Verhältnissen eine bestimmte, und wird sich auch vor den Seeenden langsam herzustellen suchen. Besonders an der Südseite, woher der Wandersand vorzugsweise kommt, beginnt sich nach und nach eine Sandzunge vor die Mündung zu legen, welche anfangs durch den Strömungsschlauch der rückfließenden Wellen in größerer Entfernung gehalten werden, dann aber, je weiter die Ablagerungen im toden Winkel vorschreiten, je mehr daher diese Strömung an Stärke abnimmt, der Mündung näher rücken wird. Ein

ähnlicher Vorgang wiederholt sich auf der nördlichen Seite durch den Ebbestrom nicht weniger rasch und intensiv. Da zu gleicher Zeit der Aufsenhafen mehr und mehr versandet, also an Spülkraft verliert, und da außerdem das Bassin zu klein ist, um bei solch bedeutenden Tiefen einen starken Spülstrom erzeugen zu können, so werden die beiden Sandzungen sich früher oder später berühren und die Mündung versperren.

Die Küstenströmungen selbst besitzen weder die erforderliche Geschwindigkeit, um den vorschreitenden Sandablagerungen eine steilere Böschung zu geben, noch werden sie verhindert, weiter in See auszuweichen. Selbst wenn Sandbänke parallel zum Ufer sich hinzögen, was z. B. an der belgischen Küste der Fall ist, würde eine Ausweichung der Strömungen sicher eintreten, weil derartige Bänke ohne festen Kern leicht beweglich sind und um ebenso viel nach der See zu wandern müßten, als man die Rinne zwischen Küste und Bank einzuengen versuchen wollte.

Wiewohl es in Ymuiden noch Jahrzehnte dauern kann, bis die Vorwanderung der Ablagerungen solchen bedrohlichen Charakter angenommen haben wird, zeigen sich doch schon jetzt die Merkmale, welche nach den früheren Entwicklungen unvermeidliche Folgen eines jeden künstlichen Einbaues sind. Da der Hafen noch nicht lange vollendet und die Einfahrtstiefe so bedeutend ist, daß die Umgestaltungen längere Zeit erfordern, um fühlbar zu werden, so können noch nicht alle deutlich zu Tage treten. Auch werden die Erscheinungen dadurch complicirt, daß die Küstenströmungen aus 2 entgegengesetzten Richtungen kommen, und daß die Molen demgemäß in erster Linie als declinante, in zweiter Linie jedoch, weil die Mündung sehr breit ist, als inclinante Einbaue wirken. Die Geschwindigkeit, mit welcher die Bank am Nordmolenkopf sich stets von Neuem bildet, ist das bedrohlichste Anzeichen des weiteren Vorganges.

Jeder Einbau an flachen Sandküsten ohne starke Erosionsströmung hat eine Vorwanderung des Küstensaumes über den Kopf hinaus zur Folge. Form und Richtungsart des Einbaus sind nur von Einfluß auf die Geschwindigkeit dieser Vorwanderung und auf die Entfernung, bis zu welcher sich deren Wirkung durch Aenderung der Strandlinie und Ablenkung der Tiefenkurven wahrnehmbar macht.

3. Capitel. Wirkung der natürlichen Spülströme auf den Küstensaum.

§. 18. Natürliche Spülströme und Bildung der Barren an den Küsten der Binnenmeere.

Wie früher bereits erwähnt, werden die Unregelmäßigkeiten in der Gestaltung des Küstensaums sehr häufig durch Uferlücken veranlaßt, welche von den Wandersänden nicht ausgefüllt werden können, weil eine locale Erosionsströmung stets von Neuem die begonnene Vorschübung der Ablagerungen zerstört. Sie sollen im Folgenden kurz „Spülströme“ genannt werden, weil die Spülwirkung allen gemeinsam ist, während die Ursachen sehr verschieden sein können.

In den Uferlücken von Binnenmeeren sind dieselben entweder veranlaßt durch Auswässerung direct einmündender Ströme und Flüsse, oder durch Auswässerung von Seen, Haffen und Lagunen, in welche Ströme und Flüsse einmünden, oder endlich durch den Rückstrom der bei auflandigen Winden in

die Küstenseen eingetriebenen Wassermengen. Im ersten Fall können die spülenden Wirkungen leicht durch die aus dem Binnenland mitgeführten Sinkstoffe und Geschiebe sehr beeinträchtigt, ja sogar ins Gegentheil umgekehrt werden, z. B. an den Mündungen der deltabildenden Ströme. Im zweiten Fall dienen die zwischenliegenden Seen als Klärbassins, in welchen die Niederschläge sich ablagern, so daß die Spülströme nur aus ziemlich schlickfreiem Wasser bestehen, deshalb also bedeutend effectvoller sind, wie dies z. B. der Fall ist bei den durch die Haffe ausmündenden ost-deutschen Strömen. Im dritten Fall endlich müssen die localen Verhältnisse sehr günstige sein, wenn die Uferlücke frei erhalten bleiben soll, da jeder eingehende Strom erhebliche Massen Sand in den Küstensee selbst und in die Uferlücke einführt. Eine dauernde Freihaltung ist nur dann möglich, wenn infolge eigenthümlicher Localverhältnisse die Ausströme stärker als die Einströme sind, d. h. wenn Wassermassen durch die Uferlücke zum Abfluß gelangen, welche vorher auf anderem Wege in den See gekommen waren. Der bei Cette ausmündende Canal, welcher den Étang de Thau an der Languedocküste mit dem Mittelländischen Meere verbindet, hat z. B. seit 1666 seine ursprüngliche Tiefe ohne Baggerung bewahrt, weil die schmale Landzunge, die ihn vom Meere trennt, bei starken Seewinden von den Wellen überströmt und momentan durchbrochen wird, so daß der See sich höher anfüllt, als es durch jenen Canal allein möglich wäre.

Die Spülströme in den Uferlücken der Binnenmeere sind im ersten und zweiten Fall meistens continuirlich, aber von verschiedener Mächtigkeit je nach der mit den Jahreszeiten schwankenden Größe der Regenmengen im Zuflußgebiete der aus dem Binnenlande kommenden Flüsse, und nach den hauptsächlich durch die Winde bedingten Wasserständen des Meeres an der Küste. Oefters wird, wenn die Auswässerung aus dem Binnenlande gering, das Meeresniveau aber hoch ist, ein Rückstau, ja geradezu eingehende Strömung stattfinden, deren Einwirkung auf die Erhaltung der Uferlücke direct niemals, indirect nur bedingungsweise von Vortheil sein kann, nämlich dann, wenn die eingetriebenen Sandmassen durch Baggerung entfernt werden, während die vollständigere Füllung die Spülkraft erhöht. Im dritten Fall wechseln Aus- und Einströmungen stetig mit einander ab, jedoch keineswegs periodisch, da die Winde, welche sie bedingen, nach Richtung, Intensität und Dauer häufig schwanken und nur, in großen Gruppen und langen Zeiträumen betrachtet, eine Gesetzmäßigkeit erkennen lassen.

Die nächste Wirkung eines Spülstroms, der reines Wasser ausführt, also keine eigenen Sinkstoffe enthält, ist die Bildung eines tiefen Kolks unmittelbar vor der Mündung und das Zurückdrängen der Sände, welche sich vor dieselbe und in dieselbe zu lagern bestrebt sind. Bei diesem Zurückdrängen nehmen die Bänke die Gestalt eines Kreisabschnitts an oder sie sind elliptisch geformt, beiderseits an den Strand anschließend, aus dessen Vorwanderung sie entstanden sind. Die Scheitellinie dieser „Barre“ senkt sich meistens vom Lande aus nach der See zu mit flacher Neigung. Die Böschung des Querprofils ist, je nachdem die Kraft des Spülstroms oder die erodirende Wirkung der Brandung vorwiegt, nach der Landseite oder nach dem Meere zu steiler als auf dem entgegengesetzten Hang. Die regelmäßige Grundform wird fast

immer durch eine oder mehrere Rinnen unterbrochen, welche der Spülstrom, dessen zweite Wirkung die Erniedrigung des seewärts gelegenen Scheitels der kranzförmigen Barre und die Erzeugung von Lücken in demselben ist, stets von Neuem austieft. Die Gestalt und Tiefe der Barre und der Rinnen hängt von der Stärke des Spülstroms, der Küstenströmung und der Winde, sowie von deren Richtung ab, wechselt also fortwährend, jedoch in bestimmten Grenzen, da alle 3 Factoren in gewissen Grenzen stetig schwanken.

Die Sände werden, bei regelmäßiger Entwicklung zunächst auf der Seite, von welcher her die Wanderung erfolgt, in die Uferlücke eintreten, vom Spülstrom aber zurückgedrängt, wenn das Profil der Mündung seinem Wasservolumen entspricht, und lagern sich in der erwähnten elliptisch geformten Barre ab. Auf der seeseitigen Böschung derselben entsteht eine Brandung der auflaufenden Wellen. Hierdurch wird ein Theil der in Suspension gehaltenen Materialien des Küstenstroms in die Wellenbewegung mit hineingezogen und dieselben Schicksale haben wie der direct aufgewühlte Sand der äußeren Barrenböschung. Die Tendenz der Transportrichtung hängt von der momentanen Richtung des Windes ab, wenn einstweilen vom Spülstrom abgesehen wird. Weht Seewind unmittelbar gegen die Uferlücke hin, so entsteht eine lebhafte eingehende Strömung. Der im Zustande des Schwebens befindliche Sand wird über den Barrenscheitel hinweggeführt, theilweise in die Uferlücke selbst, theilweise jedoch nur bis zur landseitigen Böschung der Barre, wo er, da dieselbe gleichsam als Wellenbrecher wirkt, niederfällt und ihre Verschiebung nach dem Lande zu veranlaßt. Bei Landwind wird analog das Umgekehrte eintreten. Der Einfluß des Spülstroms ersetzt alsdann die erodirende Wirkung des im vorigen Falle weit kräftigeren Wellenschlags. Winde, welche schräg gegen die Uferlücke treffen, veranlassen mit ihrer zu deren Axe parallelen Componente dieselbe Vor- oder Rückschiebung, nur in relativ geringerem Maße, mit ihrer zum Ufer parallelen Componente dagegen den seitlichen Transport eines Theiles der suspendirten Sinkstoffe.

Daß bei dem geschilderten Vorgang eine Erhöhung der Barre eintritt, ist nicht unbedingt nothwendig, aber keineswegs ausgeschlossen. Eine bleibende Erniedrigung kann nur durch den Spülstrom bewirkt werden. Die eingehende, vom Wind verursachte Strömung kann dessen Effect schwächen, ja eventuell die vertiefende Wirkung paralyisiren; es wird jedoch in diesem Fall seine Kraft noch immer ausreichen, eine landwärts gerichtete Wanderung der Barre zu verhindern. Jeder Landwind dagegen verstärkt den Spülstrom und hilft bei der Erniedrigung der vor der Mündung lagernden Sände, besonders wenn die Uferlücke ein Bassin mit dem Meere verbindet und, nach Form und Weite, geeignet ist, eine strahlartige Wirkung zu veranlassen. Dies geschieht, sobald die spülende Strömung bis zu der Barre selbst oder doch bis in deren unmittelbare Nähe concentrirt gehalten wird, so daß ihr die zur Erosion erforderliche Geschwindigkeit bleibt. Das Bestreben, Barre und Spülstrommündung einander recht nahe zu bringen, ist oft Veranlassung gewesen, die Uferlücken, soweit sie im Gebiete des beweglichen Strandes liegen, durch Molen einzufassen und künstlich zu verlängern. Was diejenigen Sinkstoffe anbelangt, welche vom eingehenden Strom in die Uferlücke selbst eingeführt werden,

so kommen dieselben früher oder später zur Ablagerung, sobald durch die Gegenwirkung des Spülstroms und durch die Trägheit der in Ruhe befindlichen Wassermassen die Einströmung mehr und mehr an Geschwindigkeit einbüßt. Es bildet sich also eine innere Barre, bei Flüssen meist an der Grenze, bis zu welcher der Rückstau des Meeres reicht, bei Uferlücken, welche Seen mit dem Meere verbinden, an dem landwärtsliegenden Ende des Verbindungschanals, in letzterem Falle „Heerd“ genannt. Wenn der Küstensee nicht durch größere Flüsse¹⁾ aus dem Binnenland, welche durch seine Uferlücke in das Meer auswässern, gespeist wird, so kann nur die ständige Wegbaggerung der eingetriebenen Sände ihre Mündung offen halten. Beweise hierfür finden sich vielfach an der pommerschen Küste und am Nordufer des Mittelländischen Meeres.²⁾ Die Étangs des Languedoc waren zur Römerzeit bedeutende Seen mit Mündungschanälen von 5—6 m Tiefe; heute sind sie größtentheils Sümpfe.

Seither war vorausgesetzt, der Spülstrom führe ausschließlich reines Wasser ab. Kommen jedoch, in aufgelöstem Zustand und am Boden fortrollend, größere Massen Sinkstoffe und Geschiebe zur Abführung, so ändert sich die Erscheinung wesentlich. Erstere werden in die See geschwemmt, entweder direct in die bewegungslosen Tiefen, oder seitlich in benachbarte Buchten, wo sie Schlickablagerungen bilden. Die Geschiebe dagegen lagern sich zunächst auf der inneren Barre ab, bis beim ersten Hochwasser die Geschwindigkeit groß genug wird, die ganze Barre ins Meer zu transportieren. Doch schon im untersten Theil des Mündungschanals verringert sich, besonders an den Rändern, die Stromkraft so sehr, daß die schwersten Materialien liegen bleiben. In freier See lagert der Rest sofort sich ab und vergrößert die Barre. Durch Einwirkung des Wellenschlags findet eine allmähliche Auswaschung der Ablagerungen statt; die feinen Schlicktheilchen sinken nach und nach auf den stillen Meeresgrund, während Sand und Kies entweder, mit dem Spiel der Winde hin und her wandernd, eine Verschiebung der ganzen Barre veranlassen, oder von den Strömungen am Ufer entlang in größere Fernen getrieben werden. Die Ablagerungen zu beiden Seiten der geschiebeführenden Strömung setzen sich häufig bis zur Barre hin fort; auf den submarinen Uferwällen entstehen dann isolirte Inseln, die sich allmählig zu vollständigen, über Meeresniveau liegenden Zungen zusammenschließen. Wird der Ausfluß des Stromes durch deren übermäßige Länge zu sehr gehemmt, so bricht derselbe sich seitlich Bahn, er gabelt. Die zwischen den alten und den neu entstehenden Zungen eingeschlossene Bucht ist unvermeidlich allmählig Verlandung ausgesetzt, so daß die gemeinsame Wirkung des Binnenflusses und des Meeres ein Verschieben des Ufers bewirkt. In dieser und ähnlicher Weise entstehen die sogenannten „Deltas“. Die Wassermenge und die Ausflugs geschwindigkeit der Ströme allein verhindern die Deltabildung keineswegs; wohl aber kann die Kraft des Wellenschlags vor der Uferlücke, sowie der geringe Gehalt an Sinkstoffen dauernd die Vorrückung des Festlands unmöglich machen.

1) Kleinere Flüsse, die viele Geschiebe zuführen, bewirken das Gegenteil. Vgl. §. 4.

2) Régy, Amélioration du littoral de la Méditerranée. Ann. d. Pts. & Ch. 1863 I p. 209.

§. 19. Natürliche Spülströme im Fluthgebiet.

Beim Eintritt in eine Uferlücke verändert die Fluthwelle ihre Gestalt, da sie in ihrem Laufe gehemmt wird.¹⁾ „Die ihr entgegretenden Hindernisse bewirken eine steilere Neigung des vorderen Hanges unter gleichzeitiger Aufstauung, bezw. Vergrößerung der Fluthhöhe, bis dann in den oberen Strecken der Tideströme die Fluthwelle sich allmählig abschwächt, das Oberwasser immer mehr maafsgebender Factor wird, und schließlic an der Fluthgrenze keine Ebbe und Fluth mehr stattfindet.“ Die gleichmäßige Zuströmung des Binnenwassers wird dabei in eine ungleichmäßige verwandelt, weil dasselbe bald im Stau liegt, bald mit vermehrter Geschwindigkeit abfließt. Hierdurch wird an der Fluthgrenze die Bildung der Tidewelle eingeleitet. Während im freien Meere die Welle bekanntlich durch Wasserentnahme auf ihrem rückseitigen, durch Wasserablagerung auf dem vorderen Hange sich bildet, und zwar derart, daß Fluth- und Ebbeströmung in jedem Stadium der Welle gleichzeitig vorhanden sind, kann in Nähe der Fluthgrenze nur Ebbeströmung stattfinden.

Noch eine andere Modification erfährt die Fluthwelle bei ihrem Eintritt in den Tidestrom.²⁾ „Sowohl der Fußpunkt als der Scheitelpunkt der Fluthwelle werden bei steigendem Oberwasser gehoben, bei fallendem Oberwasser gesenkt; und zwar wird in beiden Fällen der Fußpunkt im Allgemeinen stärker afficirt als der Scheitelpunkt, so daß die Fluthgröße im ersteren Falle verkleinert, im zweiten vergrößert wird.“ Letztere Erscheinungen zeigen sich vorzugsweise im oberen Theile des Tidestroms; im Mündungsbecken sind sie in der Regel nicht mehr wahrnehmbar. Zu den früher erwähnten Aenderungen, welche infolge der Nähe des Ufers die Fluthwelle und die zu ihrer Ausbildung erforderlichen Strömungen erleiden, kommen also im Flusse selbst noch diejenigen, welche die Variabilität des Oberwassers verursacht. Auch das Gefälle des Flußbettes, die Form und Beschaffenheit der Ufer und das Material der Sohle sind von Bedeutung. Ist das Gefälle steil und gleichzeitig die Wassertiefe gering, so kann der Wellenfuß sich nicht rasch genug ausbilden; es entsteht eine, der Stauschwelle ähnliche, stromaufwärts laufende Brandung, „Bore“ oder „Mascaret“ genannt.

Einfacher liegen die Verhältnisse bei Uferlücken, welche das Meer mit größeren Seen verbinden. Für die Offenhaltung der den Ebbestrom aufnehmenden Rinne sind kreisähnliche Bassins, wie z. B. der Jadebusen, vorzüglich geeignet. Da jedoch diese Becken nur ganz ausnahmsweise groß genug sind, eine Fluthwelle in voller Länge aufzunehmen, vielmehr dieselbe vor ihrer vollständigen Entwicklung aufstauen und unterbrechen, so befördern sie ungemein die Ablagerung von Sinkstoffen, welche die Fluthwellen mit sich führen, und leiden stark an Verlandung, die ihre Wirksamkeit im Laufe der Jahre immer mehr beeinträchtigt. Die ziemlich bedeutenden Anschlickungen, welche sich in neuerer Zeit auf der Sohle der Rade de la Pallice bei La Rochelle bilden, werden z. B. von Bouquet de la Grye³⁾ dem Umstande zugeschrieben, daß seit 1822 die als Reservoir für die Ebbeströmung

1) Löhmann, Die Fluthwelle der Tideströme. Zschr. d. Hann. V. 1880 p. 516.

2) Dalmann, Stromcorrectionen im Fluthgebiet.

3) Bouquet de la Grye, Baie de La Rochelle.

fungierende Bai de l'Aiguillon über 600 ha Wasserfläche durch Einpolderungen verloren hat.

Häufig tritt in den Uferlücken der Tidemeere der Fall ein, daß die Einströmungen andere Wege einschlagen wie die Ausströmungen. Unter Umständen wird hierdurch eine vollständigere Füllung des Bassins erzielt, welche den Ausfluß vermehrt und den concentrirt austretenden Spülstrom verstärkt. An der Mündung der Gironde¹⁾ wird z. B. die Geschwindigkeit, mit welcher die Füllung des großen Beckens vor sich geht, wesentlich dadurch ermöglicht, daß längs der Medoc-Küste bei der Pointe de Grave vorüber durch den Süd-Pafs die Fluthströmung schon eintritt, während die Ebbeströmung noch an der nördlichen (Saintonge-)Küste entlang, durch den Nord-Pafs in das Meer tretend, in vollem Gange ist.

Zuweilen erfolgt auch die Speisung der Bassins durch mehrere Uferlücken. So wird z. B. das Fluthgebiet der Lister Tiefe bei Sylt²⁾ zum Theil durch die südlicher liegenden Seegatten gefüllt und hierdurch seine Ebbeströmung erheblich verstärkt. (Fig. 1).

Vermehrt wird die Spülwirkung des Ebbestroms in allen Fällen, wenn er durch Quer- und Drehströmungen, welche von Ufervorsprüngen oder künstlichen Einbauten hervorgerufen sind, überlagert und zu Boden gedrückt wird. Diese Erscheinung zeigt sich z. B. an der Gironde- und an der Seinemündung; sie ist die vorwiegende Ursache der bedeutenden Tiefen, welche dicht bei der im Sand- und Kiesgebiet liegenden Küste von Le Havre sich zur Zeit erhalten.

§. 20. Bildung der Barren im Fluthgebiet.

Die Uferlücken der Küsten, an welchen die Flutherscheinung deutlich ausgeprägt auftritt, unterscheiden sich nicht allein durch die anders gearteten Spülströmungen von den Uferlücken der Binnenmeere, sondern auch dadurch, daß mit der Größe des Meeres, dessen Saum die Küste begrenzt, die Stärke des Wellenschlags und der Winde direct zunehmen. Die Binnenmeere sind, solch großen Strömen wie Nil und Mississippi gegenüber, nur Seen. Der Einfluß des Meeres überwiegt lange nicht in dem Grade, als dies an der Küste des Oceans der Fall ist, wo die Bildung der Mündungen zum großen Theil jenen Kräften überlassen bleibt, welche von meteorologischen Verhältnissen abhängen.

Andererseits fällt bei der Entstehung und Form der Barren eine wesentliche Rolle der Tideströmung zu.³⁾ „Bei ihrem Einströmen in die Flußmündung führt jede Fluthwelle eine je nach ihrer Stärke und Bewegungskraft mehr oder weniger große Masse von Schlamm und Sand in die Flußmündung hinein, und lagert sie theilweise in derselben ab, sobald sich ihre Stromgeschwindigkeit vermindert. Gleiches geschieht mit einem Theil der Sinkstoffe, welche von den Flüssen stromabwärts geführt werden, da sich die Flußgewässer an dem wie ein beweglicher Damm landeinwärts strömenden Fluthwasser stauen.“ So giebt es im Fluthgebiet⁴⁾ „eine gewisse Gegend, die gleichsam ein Schlickreservoir bildet, in welchem die großen Schlickmassen bei ihrer Ankunft von oben einstweilen aufgenommen werden und schwebend auf-

und abfluthen, bis sie sich allmählig ablagern, oder bis der Ebbestrom sie dem Meere zuführt.“ Wo sich Schutz bietet, wachsen die Schlickbänke zu Inseln an, befestigt und vergrößert durch die von See her zugeführten Sandmassen. Gleichzeitig entstehen in dem äußeren Theile der Uferlücke durch Vorwanderung der Küstensände Sandbänke, welche von den Tideströmungen hin und her geschoben werden, während die Küstenströmung sie stetig erhöht und vergrößert. Die Wellen dulden aber nur temporär ihre ruhige Existenz und zerstören sie immer wieder von Neuem.¹⁾ „Die von der Erosion herrührenden Producte, Schlick, Sand und Kiesel, setzen sich hinter den oben erwähnten Inseln überall fest, wo ein Stau entsteht, und wo die Sinkstoffe dem directen Wellenschlage entzogen bleiben. Da jedoch diese schützenden Inseln zuletzt selbst im Angriffe liegen, vernichtet das Meer, was es vordem selber geschaffen, und treibt die Trümmer landeinwärts an andere Ruheorte, die erst später in seinen Wirkungsbereich gelangen werden. Seine Kraft ist ungeheuer und deren Dauer unendlich. Auf der ganzen Westküste Frankreichs zeigen sich die beschriebenen Vorgänge, verschieden nur je nach Härte und Widerstandsfähigkeit der Gesteine, welche die Küstensände durch ihre Zerstörung erzeugen. Im Süden ist der Kampf fast beendet; die Küste hat ihn verloren; sie ist geradlinig und weich, parallel mit sich selbst, langsam zurück; die Inselgruppen sind im Festland eingeschlossen. Im Norden widersetzen sich die Granite der Bretagne noch; aber die Erscheinung ist dieselbe: die Flußinseln dienen als Sammelpunkte der schlickigen Sände, die geschützten Buchten in Nähe der Mündung als Aufspeicherungsorte der aus dem Binnenland kommenden Schlickmassen, welche vom Wellenschlag an die Küste zurückgeworfen werden. In Seudre und Charente, Loire und Vilaine sieht man allenthalben landwärts Inseln mit einander sich vereinigen, Sümpfe einzelne Theile der Wasserfläche des Mündungsbeckens ersetzen, endlich Wiesen an Stelle der Sümpfe entstehen.“ Die Deltas, welche von den Flüssen der französischen Westküste gebildet werden, entstehen also nicht auf und dicht hinter dem Strand, sondern am fluvialen Ende der Mündungsbecken, sie sind „innere Deltas.“

Die Sandbänke jedoch, oft auch „Seebarre“ genannt, welche in der äußeren Mündung immer von Neuem anwachsen, stehen nicht allein dadurch, daß sie als Speisereservoir für jene Deltas dienen, mit denselben in Connex; es ist auch ihre Lage und Höhe direct von der Ausdehnung jener flußseitigen Inseln abhängig. Die Fluthcapacität des Mündungsbeckens wird durch deren Anwachsen mehr und mehr geschwächt; der Ebbestrom verliert an Stärke, während die von hoher See her wirkenden Kräfte unverändert bleiben; die Sandbänke wandern daher nach dem Lande zu. Jeder Fortschritt des inneren Deltas nach unten hat einen Fortschritt der Mündungsbänke nach oben zur Folge, so daß die endliche Ausfüllung der außerhalb der Stromrinne gelegenen Theile des Beckens unvermeidlich ist.²⁾ „Die Schlickregion eines Stromes ist nicht unveränderlich an eine bestimmte Gegend gefesselt, sondern rückt allmählig nach unten vor.“ Da sich gleichzeitig die Sände nach oben bewegen, so ist das Endresultat „die Umwandlung weit ausgedehnter, die

1) Manen, Embouchure de la Gironde.

2) Braun, Fluth- und Strombeobachtungen an der Westküste Schleswigs. Zeitschr. d. Hann. V. 1877 p. 427.

3) Credner, Die Deltas p. 51.

4) Hübbe, Verhalten des Schlicks. Zeitschr. f. Bauw. 1860 p. 518.

1) Bouquet de la Grye, Le Régime de la Loire.

2) Hübbe, Verhalten des Schlicks.

Ränder der hohen Geest bespülender flacher Gewässer in tiefe, von Marschländern eingeengte, mit festen Uferlinien versehene Strombahnen.“

Nicht immer wird bei diesem Bildungsproceß das gesammte Wasser des Tidestroms in einem einzigen Schlauch zusammenbleiben. Oefters verästeln sich die Flüsse am Beginne der ehemaligen Bucht in zwei oder mehr Arme, besonders wenn die Lage der Sandbänke in seiner Mündung schon früher eine derartige war, daß außer der Spülrinne, welche den Ebbestrom aufnimmt, andere, im großen Ganzen wenig veränderliche Speiserinnen existirten, die den Fluthstrom theilweise aufnahmen. Es ist dies hauptsächlich bei solchen Flüssen der Fall, welche zu wenig Oberwasser oder zu viel Sinkstoffe aus dem Binnenland abführen, oder endlich bei denen beides stattfindet, und zwar geringe Wasserführung zur Zeit ihrer Niedrigwasserstände, starke Trübung und Geschiebeführung zur Zeit der Hochfluthen. Die meisten Beispiele von solchen Tideströmen, welche ein äußeres Delta bilden, lassen sich daher unter den Tropen und im Monsun-Gebiet auffinden, wo die plötzlichen Anschwellungen der Flüsse am häufigsten und vehementesten eintreten, z. B. die Deltas des Orinoco, des Niger, des Indus, des Ganges und der hinterindischen Ströme. ¹⁾ „Alle zeigen trichterförmige Erweiterungen der Flußarme. Diese Erscheinung erklärt sich daraus, daß das Flußwasser durch das mit der Fluth in die Mündungen eintretende, specifisch schwerere Meerwasser nach oben gedrängt und dadurch seichter gemacht wird, so daß dasselbe, was es an Tiefe verliert, an Breite zu gewinnen suchen muß.“ Die trichterförmige Mündung ist überhaupt die typische Form ²⁾ derjenigen Tideströme, welche direct, ohne vorher ein größeres, meerbuchtartiges Mündungsbecken zu durchlaufen, in die See ausfließen, welche also ihre Becken bereits ganz oder größtentheils zugeschlickt haben, so daß nur noch das engere Strombett frei geblieben ist, wie z. B. Charente und Seudre, bei denen jener Proceß in sehr weit vorgerücktem Stadium sich befindet.

Hier wurden durch die natürliche Entwicklung annähernd solche Breiten und eine solche Grundform der Mündung geschaffen, daß große Tiefen sich ohne künstliche Nachhilfe dauernd erhalten. Wo dies nicht der Fall ist, wo die Spülwirkung des Ebbestroms durch übermäßige Weite geschwächt, wo die Aufnahmefähigkeit für Fluthwasser durch unregelmäßige Uferbildung und Stromengen verringert wird, muß die Menschenhand verbessernd eingreifen. Der oberste Grundsatz der Correction ist, die lebendige Kraft der Fluthwelle und die damit ein- und ausströmende Wassermenge, oder das hydraulische Vermögen an jedem Punkte und in jedem Augenblicke möglichst groß zu halten. ³⁾ „Gefälle, Profilform, Profilgröße und Wassermenge eines Stromes sind von einander abhängige Größen, und die Aenderung einer derselben bringt nothwendige Aenderungen im Zustand der anderen hervor; im Allgemeinen hat eine Vermehrung der Wassermenge eine Vergrößerung sowohl des Gefälles als der Profile zur Folge. Wenn man dafür sorgt, daß die Ufer nicht angegriffen werden können, so ist der Erfolg eine

Vertiefung.“ ¹⁾ Sehr schwierig ist es, hierbei die Wahl der Breiten richtig zu treffen. Sind dieselben zu groß, so wird die Ebbestromung zu schwach; sind sie zu klein, so wird die Einströmungsmenge des Fluthwassers beeinträchtigt. Im ersteren Falle findet der Angriff auf die inneren, im letzteren Falle der Angriff auf die äußeren Bänke nicht in genügendem Maße statt.

So besaß z. B. früher, vor der Regulierung, die Seine ²⁾, besonders im Mündungsbecken zu bedeutende Breiten; am landseitigen Ende desselben bildeten sich daher flache Stellen in großer Zahl, ebenso im unteren Theile des eigentlichen Tidestrombetts. Nach der Einschränkung der Fahrrinne durch Parallelwerke sind diese Untiefen zwar verschwunden; da jedoch das außerhalb der Werke gelegene Becken mit Alluvionen angefüllt wurde, hat sich die Menge des Fluthwassers so erheblich verringert, daß jetzt bereits die Erhaltung der Tiefen vor Le Havre fraglich erscheint, hauptsächlich der Petite Rade, deren Existenz von der Ueberlagerung des aus dem Mündungsbassin kommenden Ebbe durch den an der Nordküste abgelenkten und verspätet eintreffenden Fluthstrom ermöglicht war. Aller Wahrscheinlichkeit nach muß sich die Barre deren Ausbildung durch den starken, viele Geschiebe mit sich führenden Küstenstrom unvermeidlich ist, sobald die mit Riesenschritten voranschreitende Verlandung des Aestuariums selbst beendet sein wird, weiter seawärts ausbilden, beiderseits mit dem Lande verbunden, so daß die großen Tiefen (ausgenommen diejenigen unmittelbar vor der ziemlich weit von Le Havre entfernten mittleren Rinne) vom Ufer zurücktreten und ein ähnlicher Zustand eintreten wird, wie er an der Mündung des Adour ³⁾ bereits besteht.

Dieser Strom führt nahezu viermal mehr Wasser ab als die Seine, sein Gefälle ist 10 mal größer; dabei lagert er seine Geschiebe fast sämmtlich oberhalb Bayonne ab, so daß er bei seinem Ausfluß nur noch Schlick trägt. Die Küstenströmung, welche vorzugsweise von Norden nach Süden gerichtet ist, hatte trotz dieser günstigen Stromverhältnisse durch Vorlagerung einer kiesführenden Sandbank vor die Mündung den Strom immer weiter nach Süden gedrängt, bis man ihre directe Einwirkung durch Anlage von Molen unschädlich machte. Die nun erfolgende indirecte Wirkung war aber schlimmer als der frühere Zustand, da sich nunmehr eine Barre aus grobem Kies dicht vor den Molen bildete, die von dem nördlichen Strande aus ständig erneuert wurde. Daß das Material der Barre gröber ist als das der Küste, erklärt sich aus dem heftigen Wellenschlag, der die feineren Bestandtheile sofort ausspült und nicht zur Ruhe kommen läßt. Eine Verschiebung der Barre seawärts, wo

¹⁾ Hierbei sei gelegentlich erwähnt, daß sich in denjenigen Tideströmen, welche noch in der ersten Bildungsepoche sich befinden, zwei wesentlich verschiedene Theile unterscheiden lassen, die freilich oft unmerklich in einander übergehen, oft aber auch schon äußerlich leicht zu unterscheiden sind: 1) der fluviale Theil oder eigentliche Tidestrom, 2) der maritime Theil oder das Mündungsbecken. Im eigentlichen Tidestrom herrscht nur Ebbestromung; das Oberwasser bewirkt Vorwalten des Süßwassers; die Stromrinne ist einheitlich entwickelt. Im Mündungsbecken dagegen alterniren Fluth- und Ebbestromung, der Salzgehalt des Wassers ist bedeutend; es bilden sich mehrfache Rinnen aus. Im Allgemeinen darf die Correction durch über N. W. reichende Parallelwerke nicht in das eigentliche Mündungsbecken fortgeführt werden. Jedoch ist eine parallelwerksartige continuirliche Coupirung der Seitenrinnen unter Niedrigwasser zulässig.

²⁾ Estignard, L'Embouchure de la Seine.

³⁾ Bouquet de la Grye, L'Embouchure de l'Adour.

1) Credner, Die Deltas.

2) Abweichungen kommen öfters vor, meistens durch die Küstenströmung veranlaßt, welche zungenartige Bänke vorschiebt, z. B. am Adour.

3) Dalmann, Correctionen im Fluthgebiet.

sie stärkerem Seegange ausgesetzt ist, hat stets, auch wenn ihre Höhe unverändert bleibt, zur Folge, daß ihr Material gröber wird. Hierdurch aber wird die Brandung vergrößert und die Einfahrt erschwert, ja bei stürmischer See sogar vollkommen unmöglich gemacht. Die Barre vor dem Adour hat, nach dem Erwähnten, sehr viel Aehnlichkeit mit denjenigen Barren, welche sich vor den Mündungen kleinerer Flüsse in Binnenmeeren ausbilden. Auch vor den Mündungen solcher Tidehäfen, welche keine andere Spülung erhalten als die aus dem Hafengebassin austretende Ebbeströmung, werden sich die Ablagerungen des Küstenstromes in gleicher Weise gestalten müssen, da, selbst bei außergewöhnlicher Größe jener Bassins, die vom ausgehenden Strome allein erzeugte Spülkraft bei weitem zu schwach ist, die Fahrinne frei zu halten.¹⁾

Alles, was im Vorstehenden von den Seebarren der Tideströme, bezw. von dem Gebiet der Sandbänke am unteren Ende der Mündungsbecken gesagt wurde, gilt in der Hauptsache auch für die Seebarren derjenigen Uferlücken, welche größere seeartige Becken ohne Binnenzufüsse mit dem Meere verbinden. Auch hier wird die Schwächung der Spülkraft durch fortschreitende Verlandung des Bassins, mit welcher die Fluthcapazität Schritt für Schritt abnimmt, eine Annäherung der Bänke nach dem Lande zu bewirken. Dies geschieht um so rascher, wenn die Mündung nicht die der Größe des Bassins entsprechende Breite hat. Eine zu große Breite schwächt den Ebbestrom, eine zu kleine Breite vermindert die Quantität der Füllung. Das Endresultat muß, wie in Binnenmeeren, nur weit langsamer, eine totale Ausfüllung des Beckens oder die Umwandlung in einen sumpftartigen Küstensee sein, letzteres stets, wenn der Wind durch Dünenbildung, durch Vortreiben der Dünen und durch Einwehen von Sandmassen die Wirkung des Küstenstroms unterstützt. Auf diese Weise sind z. B. die zahlreichen Seen der Küste von Gascogne entstanden. Auch die nordjütische Küste weist eine große Reihe Seen auf, welche durch ähnliche Vorgänge, bei denen die Tideerscheinung eine wesentliche Rolle spielt, mehr oder weniger vollständig vom Meere abgeschnitten sind.

§. 21. Einfluß der Neigungswinkel zwischen Spülstrom, Küstenstrom und Wellenrichtung auf die Tiefe der Rinne.

Nach vorigem Paragraphen kann die allmähige Umgestaltung einer Tidestrommündung durch folgende Schlagwörter angedeutet werden: Bildung eines inneren Deltas am unteren Ende des eigentlichen Tidestroms, einer Anhäufung von Sandbänken am unteren Ende des Mündungsbeckens — Ausdehnung des inneren Deltas nach der See, der Sandbänke nach dem Lande zu — Umwandlung des Mündungsbeckens in Marschland, welches der Tidestrom in einfachem (oder vergabeltem) Bette durchströmt — Bildung einer Barre vor der Mündung des direct in die See ausfließenden Tidestroms.

1) In dem kleinen Werke „Harbour Bars“ (London, 1878) führt Mr. Knapp aus, man würde die Seebarren vor Tidehäfen und Tidestromen dadurch beseitigen können, daß man quer zur Mündung in Tiefen von 15 bis 18 m einen unterseeischen Wellenbrecher, welcher 6 bis 9 m über den Meeresgrund vorragen soll, anlegt, dessen Zweck wäre, den Wellenschlag von der Barre selbst abzuhalten. Er hofft, bei dem so erreichten Schutz vor den Angriffen der Wellen, welche eine stetige Abspülung der seeseitigen Böschung und hierdurch eine Erhöhung der Barre (vgl. §. 18) veranlassen, würde die Spülung aus dem Tidestrom oder der Hafenumündung allmähig den Scheitel der

Die Sandbänke, welche im ersten Stadium auftreten, werden gleichfalls Barre genannt, unterscheiden sich von der im letzten Stadium entstehenden Barre aber wesentlich dadurch, daß sie weit weniger compact als diese sind, daß bei ihnen die Rinnen als der stetige, die Bänke als der dem Wechsel unterworfenen Theil auftreten, während im anderen Falle die Rinnen auf der fixbleibenden Barre ihre Lage häufig ändern, freilich auch nur innerhalb gewisser Grenzen. Wird als Richtung der Rinne hierbei diejenige mittlere Lage angenommen, um welche die übrigen Lagen je nach Richtung und Stärke des Windes pendeln, so läßt sich im Allgemeinen der Einfluß untersuchen, welchen die von den herrschenden Winden erzeugte Dünung und der Küstenstrom bei ihrem Zusammentreffen mit dem in der Rinne austretenden Spülstrom auf deren Tiefe ausüben.

Der Winkel, welchen die beiden Kräfte, der Wellenschlag des Meeres und die Kraft des Spülstromes, mit einander einschließen, ist von großem Einfluß auf das Profil, die Tiefe und die Passirbarkeit der Barre. Es ist klar, daß der Geschwindigkeitsverlust, also auch die entstehende Ablagerung am größten sein wird, wenn beide direct gegen einander stoßen. Durch diesen Stofs wird eine starke innere Bewegung und ein Stau erzeugt, in deren Folge die von den Wassermassen schwebend mitgeführten Sinkstoffe, welche an den hierdurch hervorgerufenen Oscillationen der Wassertheilchen theilnehmen müssen, größtentheils zu Boden fallen, weil jede derartige Oscillation beim Ueberschreiten der todten Punkte den Niederschlag der suspendirten Materialien zur Folge hat. Da nun ein schiefer Stofs weniger Verlust an lebendiger Kraft und geringere innere Bewegungen erzeugt, so wird bei schrägem Zusammentreffen von Dünung und Spülströmung sowohl die Brandung als auch die Größe der Ablagerung vermindert, die Passirbarkeit der Barre also in doppelter Weise erleichtert.

1) Man kann (Bouquet de la Grye) die Einfahrtstiefen der Ströme in Rücksicht auf die Höhe der Barre nahezu nach dem Neigungswinkel, in welchem sie mit der Richtung des Wellenschlags zusammentreffen, rangiren. Unter den Flüssen, welche, so zu sagen, durch die große Menge ihrer Sinkstoffe und die geringe Wasserführung bei Niedrigwasser zur Bildung starker Barren vorausbestimmt sind, ist in erster Linie die Loire zu nennen. Dieser Strom hat 2 Einfahrten. Die eine hat sich südlich der Morées gebildet, wo der Wellenschlag direct gegen den Ebbestrom trifft, weshalb denn auch die Barre flach und bei stürmischem Meere nicht passirbar ist. Die andere Einfahrt weist bei Niedrigwasser immer noch 4 m Tiefe auf und kann selbst bei bewegtester See durchfahren werden, da von der Pointe de l'Ève die Wellenrichtung derart abgelenkt wird, daß sie schräg gegen den Spülstrom trifft. Arcachon besitzt 2 Pässe; der schräg zum Wellenschlag gerichtete Nordpafs hat große Tiefen, der geradegerichtete Südpafs ist unbenutzbar. Die Gironde tritt durch 2 Rinnen aus; die nördliche, schräg zur herrschenden Dünung, ist bei bewegter See allein fahrbar.²⁾ „Betrachten wir die

Barre bis zur Krone des Wellenbrechers erniedrigen. In diesem Project ist eben so wenig auf die Wirkung der Küstenströmung, als darauf Rücksicht genommen, daß durch die über dem Wellenbrecher entstehende Brandung die Einfahrt in den Hafen in hohem Maße belästigt werden muß.

1) Bouquet de la Grye, L'amélioration des embouchures des fleuves.
2) Bouquet de la Grye, Étude hydrogr. de la Baie de La Rochelle.

verschiedenen Uferlücken, welche in den Pertuis d'Antioche (an der französischen Westküste) münden, so sehen wir, daß man sie in verschiedener Weise ordnen kann, je nachdem man die Wassermenge, die Stärke des Wellenschlags an der Mündung, den Winkel, welchen Spülstrom und Dünung mit einander bilden, oder endlich die als Schluffeffect hervorgebrachte Höhe der Barre zum Vergleiche bringt. Folgende Tabelle giebt eine annähernde Werthschätzung der genannten Einfüsse: ¹⁾

Namen.	Stärke des Ebbestroms.	Stärke des Wellenschlags	Neigungswinkel zwischen beiden.	Höhe der Barre über Niedrig-Wasser.
Riv. de Luçon . . .	2	1	+ 90°	+1,0 m Schlick.
Riv. de Marans . . .	30	3	+135°	-0,3 m Schlick.
La Rochelle	1	5	+180°	-0,6 m Sand.
Charente	70	6	-180°	-0,6 m Schlick.
Étier de Brouage . .	2	3	-110°	+1,5 m Schlick.
Étier de Merignac . .	2	3	-135°	+2,1 m Schlick.
La Seudre	60	2	-127°	-3,0 m Schlick.
Le Château	1	0	+ 45°	+0,4 m Fels.
La Perrotine	2	3	-130°	+1,5 m Sand.

Nimmt man nur auf die größten Differenzen Rücksicht, so erkennt man sofort, daß die Seudre die bedeutendsten Tiefen hat, wiewohl die Kraft ihres Spülstroms geringer als bei der Charente ist. Der Grund liegt in der geringeren Stärke des Wellenschlags und der günstigeren Neigung desselben gegen die Ebbestromung. Vergleicht man sodann die Einfahrten der Charente und der Bai von La Rochelle, welche von so außerordentlich verschiedenen Wassermengen durchströmt werden, so erhellt noch deutlicher, daß die Wirkung der Spülung bei der Charente durch andere Verhältnisse stark beeinträchtigt wird. Berücksichtigt man endlich, daß am Château die Austiefung bis auf den felsigen Grund, der ihr eine Grenze setzt, trotz des schwachen Ebbestroms erfolgt ist, so muß man zum Schlusse gelangen: Der Neigungswinkel zwischen Dünung und Ebbestromung beeinflusst vorwiegend die Tiefe der Barre.“

An der von N. nach S. gestreckten Küste des Departements des Landes, wo der Wellenschlag wegen der unmittelbaren Nähe der großen Meerestiefen ungemein heftig ist, sieht man alle Wasserläufe, seiner Einwirkung nachgebend, südwärts ausweichen, in welcher Richtung sie den kleinsten Widerstand finden. Diese Ausweichung dauert so lange, bis die immer weiter abnehmende Spülkraft dem Wellenschlag das Gleichgewicht nicht mehr halten kann, so daß ein besonders heftiger Wind die Mündung verstopft. Die aufgestaute Wassermasse muß sich alsdann durch den vorgebauten Sandwall einen neuen Weg bahnen; und es wird dies dort geschehen, wo ihre lebendige Kraft am größten ist, also in der alten Uferlücke. Verhindert man dies, bei einigermaßen großen Wasserläufen immer von Neuem sich wiederholende Spiel durch Anlage von senkrecht zum Ufer in Richtung der Mündung erbauten Molen, welche dieselbe fixiren, so wird die entstehende Barre sogar dann höchst gefährlich, wenn der Spülstrom ungewöhnlich stark und kräftig ist, z. B. am Adour.

Die Molen müßten also convex zur Windrichtung gekrümmt werden, um den Ebbestrom schräg zu derselben austreten zu lassen. Wirklich zeigen auch sämtliche Häfen der Westküste Frankreichs, daß die Einfahrtstiefen um so

1) Die Zahlen ad 1 und 2 sind relative Schätzungen. Die Vorzeichen in Col. 3 beziehen sich auf den Sinn der Richtungen, wobei der gleiche Sinn mit +, der umgekehrte Sinn mit — bezeichnet ist.

besser erhalten bleiben, je weniger scharf die Einfahrtsrichtung dem herrschenden Wellenschlag entgegen tritt. Ähnliche Erscheinungen lassen sich an den Küsten anderer Meere gleichfalls constatiren, z. B. die auffallend günstigen Tiefen der Hafeneinfahrt von Libau, der Mündungen der Schelde, des Hérault u. s. w., andererseits die relativ flachen Barren des Pillauer Tiefs, der Maas, des Grau de la Nouvelle u. s. f.)

Eine analoge Betrachtung über den Einfluß der Neigung des Spülstroms zur Küstenströmung muß zu denselben Resultaten führen. Dieselbe ist häufig die einzige oder vorwiegende Quelle, welche die Sinkstoffe, aus denen die Barre gebildet wird, liefert. Im Früheren ist bereits ihre Wirkung eingehend besprochen worden, und es wird hier nur noch zu betonen sein, daß die unvermeidlichen Ablagerungen, welche durch ihren Zusammenstoß mit der aus den Uferlücken austretenden Strömung entstehen, um so geringer und weniger gefährlich sein werden, je mehr die Austrittsrichtung mit dem Sinne der Wanderung des Küstenstroms übereinstimmt. ²⁾ „Die Höhe einer Barre wird zum Minimum, wenn Spülstrom und Küstenstrom nahezu dieselbe Richtung haben.“

II. Die Anlage von Seehäfen im Sandgebiet. ³⁾

4. Capitel. Rücksichtnahme auf Erhaltung der Tiefe.

§. 22. Die Lage der Häfen im Allgemeinen.

Sehr viele (und hierher gehört gerade die größte Zahl der Welthäfen) nicht an felsigen Buchten der Steilküsten erbaute Hafenanlagen verdanken die Möglichkeit ihrer dauernden Existenz dem Umstande, daß die spülende Wirkung der Uferlücke, an welcher sie gelegen sind, die Rinne im Küstensaume stets von Neuem reinigt und die Einfahrt offen hält.

Bei Hafenanlagen im Fluthgebiet ist meistens der Innenhafen durch Schleusenthore gegen den Vorhafen abgeschlossen, um dauernd Hochwasser halten zu können. Der Vorhafen wird dann auch als Liegehafen für kleinere Schiffe, welche sich nur kurz aufhalten oder das Aufsetzen vertragen, benutzt. Bei den an größeren Tideflüssen ausgeführten Anlagen dient sehr häufig der Fluß selbst als Vorhafen. Eine Zwischenanlage zwischen den Bassins des Innenhafens und dem Strom macht die Verbindung öfters leichter und rascher, so z. B. kleine Leitmolen, Schleusenammern und Halbtidebassins. Wo der Strom bedeutende Tiefen, auch bei Niedrigwasser, besitzt, können die Schiffe direct an den Quais anlegen, oder an Ladebrücken, welche in den Strom hineingebaut sind, oder endlich — sie werden durch Schuuten entladen, die ihre Waaren in kleine Seitencanäle (Fleethe) verfahren, an deren Ufer die Magazine gelegen sind. In diesem Fall ist der Strom Vor- und Innenhafen zugleich.

1) Der italienische Marineofficier Cialdi will den geraden Stofs des Spülstroms gegen den Wellenschlag dadurch vermeiden, daß er die nach der Windseite gelegene Mole bedeutend länger macht, sie aber unmittelbar hinter der eigentlichen Hafeneinfahrt unterbricht, und an das nach der Küste zu liegende Ende einen Querdamm anbaut, welcher die gegen ihn anprallenden Wellen ablenkt und durch den so hervorgerufenen seitlichen Strom die Barre wegspülen soll. Wenn diese Anordnung auch vielleicht für die Erhaltung der Tiefe nützlich werden könnte, so würde sie doch gleichzeitig den Einlauf fast unmöglich machen durch die Querströmung und die Kabelleung in der Einfahrt.

2) Bouquet de la Grye, Baie de La Rochelle.

3) In diesem Abschnitt sind die benutzten Quellen, hauptsächlich die Werke von Hagen, Sganzin, Rennie, Voisin-Bey und Stevenson, sowie Monographien und Notizen aus technischen Zeitschriften, nur ausnahmsweise angeführt.

Auch bei Flüssen, welche in Binnenmeere münden, kann der offene Strom direct als Vor- und Innenhafen dienen; öfters jedoch sind besondere Bassins hierfür hergestellt.

Wenn unter „Aufsenhafen“ diejenigen Seebau-Anlagen verstanden werden, welche den Zugang von den eigentlichen Häfen zum Meere und umgekehrt vermitteln, so repräsentirt bei regulirten Tideströmen die regulirte Strecke den Aufsenhafen. Am Adour und am Tyne ist derselbe durch Molenbauten gebildet. Die unmittelbar am Meere selbst liegenden Tidehäfen haben ihren Aufsenhafen bassin- oder schlauchartig geformt. Die Hafenanlagen in Binnenmeeren sind mit sehr wenigen Ausnahmen an Uferlücken ausgeführt. Entweder dient die durch Molen bewirkte schlauchförmige Verlängerung oder ein vorgebautes Bassin als Aufsenhafen. Der Aufsenhafen kann eventuell sehr weit von dem Innenhafen entfernt liegen. Für Königsberg würde z. B. das Pillauer Tief, für Stettin die Swinemündung als Aufsenhafen anzusehen sein; in diesem Fall dient oft der Aufsenhafen mehreren Vor- und Innenhäfen gemeinschaftlich, das Pillauer Tief für Pillau, Königsberg und Elbing, die Swinemündung für Swinemünde und Stettin u. s. w.

Die Verschlammung der Vor- und Innenhäfen ist ein unvermeidlicher Uebelstand, um so bedenklicher, je trüber die vom Meere her zurücktretenden und je schlickhaltiger die vom Binnenland zugeführten Wassermassen sind. Eine gründliche Reinigung ist in den meisten Fällen nur durch Aufbaggerung zu bewirken.

Die Passirbarkeit der Barren vor denjenigen Aufsenhäfen, welche an flachen Sandküsten im Tidegebiete gelegen sind, ist dagegen durch Baggern allein nur mit außerordentlichen Opfern dauernd zu ermöglichen. Dafs vor der Mündung der Uferlücken im Küstensaume jedenfalls Barren sich bilden müssen, ist im vorigen Capitel nachgewiesen, ebenso, welche Verhältnisse auf die Höhe derselben und auf die Erhaltung der Fahrrinnen von Einfluß sind.

Der Reisebericht,¹⁾ welchen die mit dem Entwurfe eines Projectes für den Tiefwasserhafen zu Boulogne beauftragten Ingenieure Stoecklin und Laroche veröffentlicht haben, widerspricht dieser Ansicht nur scheinbar. Die von ihnen als Beispiele für die Möglichkeit, Barren dauernd zu verhindern, angeführten Häfen liegen entweder an Flüssen oder Uferlücken, welche von kräftigen Spülströmen rein gehalten werden (Antwerpen, Liverpool, Hoek van Holland, Tyne, Nieuwediep, Greenore), oder sind überhaupt nicht an flachen Sandküsten angelegt (Boulogne, Dover, Kingstown). Die Grundbedingung für das dauernde Tiefbleiben der Einfahrtrinnen ist ein kräftiger Spülstrom. Wo ein solcher nicht natürlich vorhanden ist, muß die Kunst ihn ersetzen.

§. 23. Die künstliche Spülung der Tidehäfen.

²⁾ „Nur solche Häfen, vor denen ein bedeutender Fluthwechsel stattfindet, können künstlich gespült werden. Dieses geschieht, indem das Hochwasser in weite, zur Seite des Hafens belegene Bassins eintritt und hier durch Schleusen zurückgehalten wird, die man zur Zeit des niedrigsten Wassers plötzlich öffnet. In dieser Weise ist beim Beginne der Spülung ein Gefälle wirksam, welches nahe dem ganzen

Fluthwechsel gleich ist. Man erachtet aber selbst dieses, wie es sich in seiner mittleren Gröfse herausstellt, noch nicht für genügend, und beschränkt daher ganz allgemein die Spülungen nur auf die Zeit der Springfluthen.“

¹⁾ „Die Entstehung des Spülstroms beginnt in dem Augenblicke der Oeffnung der Schleusenthüren. Da in diesem Augenblicke die Druckhöhe am größten ist, sollte man sofort die größte Ausflufsmenge und die größte Geschwindigkeit des Spülstromes erwarten. Beides ist aber nicht der Fall. — Diese Erscheinung erklärt sich durch die Trägheit der ruhenden Wassermassen; das Wasser vor den Schleusen muß erst in Bewegung gesetzt werden, und zur Erzeugung dieser Bewegung ist mehr Kraft erforderlich, als zur Unterhaltung derselben. Aus demselben Grunde verfließt einige Zeit, wie es scheint je nach der Länge des Spülbassins mehr oder weniger, bis die größte Ausflufsmenge durch die Schleusen strömt, so dafs diese erst dann gefunden wird, wenn der Wasserspiegel im Bassin sich schon merklich gesenkt hat. — Im Uebrigen geht die Entwicklung des Spülstromes regelmäfsig vor sich; der Wassermenge entsprechend, wächst das Gefälle und die Geschwindigkeit, bis beide, im Augenblicke der größten Wassermenge, ebenfalls ihren höchsten Werth erreichen. Wenn es gelingt, die Oeffnung der Schleusen so abzapfen, dafs der Augenblick von Niedrigwasser mit dem der größten Ausflufsmenge zusammentrifft, so wird das Gefälle und die Wirkung des Spülstromes ein Maximum. Nach Erreichung desselben vermindert sich schnell die Wassermenge, und eine Wirkung des Spülstroms auf sein Bett ist nicht mehr bemerkbar.“ Die kräftige Spülung dauert je nach den localen Verhältnissen nur 10 bis höchstens 30 Minuten.

Das zur Füllung der Spülbassins verwendete Wasser ist entweder Fluthwasser, vom Meere aus bei geöffneten Schleusenthüren eintretend, oder Binnenwasser, aus Flüssen und Entwässerungscanälen herstammend. Liegt der Hafen in der Nähe von Wattflächen, so bringt jede Füllung eine außerordentlich beträchtliche Menge Schlick in das Bassin, die zu einer raschen Auffüllung Veranlassung giebt. Trotzdem der ausgehende Strom einen großen Theil der Niederschläge mit sich reißt, betragen z. B. in Cuxhaven²⁾ die jährlichen Ablagerungen ca. 10 cm. Im Vorhafen haben sie gleichzeitig ca. 1,3 m betragen. Für Honfleur wird sogar die mittlere Aufschlickung des Vorhafens pro Tide auf 3 mm geschätzt,³⁾ was ca. 2,1 m per Jahr entspricht; in gewissen Perioden ist sie noch 3- bis 4mal größer. Die Ablagerung im Spülbassin dürfte auf 30 bis 50 cm per Jahr anzunehmen sein.

Man hat zwar, um einer solch enormen Verlandung zu begegnen, neuerdings in Vorschlag gebracht, nur die oberen abgeklärten Schichten des Fluthwassers in das Bassin eintreten zu lassen. Doch ist die Wirkung dieses an sich guten Vorschlags bis jetzt noch nirgends constatirt. In Honfleur ist z. Z. eine derartige Construction, Klappthore mit horizontaler Drehachse, in Montage. Eine ähnliche Anlage ist für die Speisung des Bassin de Penhouët in St. Nazaire in Aussicht genommen. Um dem Nachtheil der starken Sand-

1) Lentz, Die künstl. Spülung der Seehäfen. Zeitschr. f. Bauwesen 1868 p. 60.

2) Lentz, a. a. O.

3) Estignard, L'embouchure de la Seine.

1) Stoecklin et Laroche, Des Ports maritimes u. s. w.

2) Hagen, Seebau III. p. 39.

ablagerung zu entgehen, ist vielfach die Füllung durch das relativ reinere Wasser kleinerer Flüsse, die bei Hochwasser, wo sie stark getrübt sind, besondere Ausläufe erhalten, z. B. in Cherbourg, bewirkt worden, oder durch Entwässerungscanäle der Polder, z. B. in Calais und Dunkerque. Doch führt diese Anordnung den Uebelstand mit sich, daß die auch hierbei unvermeidlichen Niederschläge und die Einmengen fremder Körper, Baumäste u. s. w., welche bei der Spülung in den Vorhafen und auf die Barre getragen werden, dort eventuell die Baggerung erschweren können. In Dunkerque z. B., wo sich die Verwendung von Saugebaggern als sehr vorteilhaft, selbst bei mächtig hohem Seegang (0,6 m bis 0,8 m) erwiesen hat, wird deren Effect sehr beeinträchtigt durch die Verunreinigung des an und für sich reinen Sandes mit den schlammigen Niederschlägen des Spülbassins, während die groben fremden Körper sogar häufig directe Beschädigungen der Apparate verursachen.

Wenn schon die Beschaffung geeigneten Spülwassers nicht ohne große Schwierigkeiten ist, so leiden die künstlichen Spülungen, welche zur Zeit in Anwendung sind, noch an manchen anderen Mifsständen, so daß an verschiedenen Orten, z. B. in Le Havre, seitdem die Unternehmer der Ballastlieferungen mit Dampfbaggern arbeiten, die Spülanlagen unbenutzt bleiben. Man nimmt allgemein an, daß der Spülstrom auf die Barre keine Wirkung mehr ausüben kann, wenn dieselbe mit einer Wasserschicht von mehr als etwa 3 m Tiefe überdeckt ist. Selbst die bestangelegten und kräftigsten Spülungen, z. B. die von Ostende, welche in $\frac{3}{4}$ Stunden über 1 Mill. cbm Wasser ausläßt, können nur 2 m bis 2,5 m Tiefe unter Niedrigwasser herstellen.

Vielfach ist man daher dazu übergegangen, Baggerung zu Hilfe zu nehmen. In Dunkerque erhofft man von der Combination der Spülung mit der Baggerung weit bessere Resultate als von den seitherigen Spülungen, besonders auf der Barre selbst, auf deren Erniedrigung der Spülstrom allein nicht genügenden Effect ausüben kann.

In vielen Fällen hat man die Fluthbassins als Reservoir benutzt, was natürlich nur auf Kosten des in denselben gehaltenen Wasserstandes möglich ist. Sowohl diese Anordnung, als auch das Bestreben, den Vorhafen zu spülen, beeinträchtigt die Benutzung des Hafens in hohem Grade. Die Spülung des Vorhafens ist überdies ¹⁾ „nur von untergeordneter Bedeutung, da man hier, wo ein heftiger Wellenschlag nur selten eintritt, durch Baggern die erforderliche Tiefe darstellen kann.“ Die Wirbel und Sturzwellen, welche im Vorhafen entstehen, sobald das Spülbassin an dessen innerer Seite gelegen ist, benachtheiligen die in demselben aufgesetzten oder in Kolken liegenden Schiffe. Außerdem kann die meist nicht frei zu wählende Austrittsrichtung des Spülstroms Veranlassung geben zu Unterwaschungen und Beschädigungen der Quaimauern und anderer Constructionen.

Die Anlage der Spülschleusen am äußeren Ende des Vorhafens, also am landseitigen Ende des Aufsenhafens ist weit glücklicher, da während der Spülung selbst, zur Zeit des Niedrigwassers, dieser Theil des Hafens unbenutzt bleibt. Schwierig ist es jedoch, dann die Ausmündung des Spülstroms in die Richtung des Aufsenhafens zu bringen, was z. B. auch bei der neuen Anlage in Calais (Fig. 12) nicht ganz erreicht

ist. Dies, wie dort geschehen, durch Combination mehrerer Spülströme zu erzielen, ist immerhin nur ein Aushilfsmittel, das zu anderen Nachtheilen, Verlusten an lebendiger Kraft und unregelmäßigen Profilen, führen muß. Selbst wenn die vorhin als vorteilhaft bezeichnete Lage für die Spülschleusen gewählt wird, geht durch die großen Längen der Aufsenhäfen Gefälle, also auch Spülwirkung verloren.

Der naheliegende Gedanke, die Spülung direct an die Hafeneinfahrt zu legen, ist fast nirgends aufgenommen worden. Bei Oyestreham hat man den Ausfluß der Orne zur Spülung der Einfahrtsrinne benutzt durch Anlage eines parallel zum Ufer gebauten wellenbrecherartigen Steinwalles. Für La Rochelle hatte Bouquet de la Grye ein Project aufgestellt, demzufolge der Einfahrts canal aus einer Reihe von Spülbassins, welche längs dessen Südmole anzulegen sein würden, so daß die Spülströme an verschiedenen Punkten des Canals austreten, der letzte aber an seinem seewärts gelegenen Ende, echelonförmig gespült werden sollte. In Honfleur ist augenblicklich ein Spülbassin im Bau, nahezu fertig gestellt, dessen Ausmündung direct an der Hafeneinfahrt liegt. Das neue Reservoir hat 60 ha Fläche und kann 400000 bis 900000 cbm Spülwasser liefern, je nach der Fluthgröße, da man jede Tide für die Spülung auszunutzen beabsichtigt.

Wenn diese flüchtige Beschreibung der zur Zeit üblichen Anordnungen zu dem Schlusse führen muß, daß sie dem wichtigen Zwecke, den die künstliche Spülung zu erreichen bestimmt ist, nur höchst unvollkommen entsprechen, so darf man doch keineswegs die Hoffnung aufgeben, durch naturgemäße Anlagen und rationellere Methoden die künstlichen Spülströme in ihrem Auftreten und in ihrer Wirkung den natürlichen Spülströmen ähnlicher machen zu können. In welcher Weise dies zu erreichen wäre, soll im Folgenden untersucht werden.

§. 24. Form der Hafendämme mit Rücksichtnahme auf die Spülung der Einfahrt. Schlauchhäfen.

Einerseits die Nothwendigkeit, daß die einsegelnden Schiffe im Aufsenhafen ihre lebendige Kraft todlaufen müssen, andererseits das Bestreben, die Molenköpfe in größere Tiefen zu bringen, haben zur Folge, daß die Hafendämme fast aller mit künstlicher Spülung ausgerüsteter Häfen sehr lang sind. Dazu kommt noch, daß die Spülschleusen häufig nicht direct in den Aufsenhafen münden, sondern zunächst in den Vorhafen. Die Entfernung derselben von der Hafeneinfahrt schwankt daher zwischen 500 bis 1500 m, beträgt aber zuweilen ausnahmsweise noch erheblich mehr. Bedenkt man, daß das Gefälle sich höchst ungleich ausbildet, daß bei weitem der größte Theil sich unmittelbar hinter der Schleuse concentrirt, so leuchtet ohne Weiteres ein, daß eine Möglichkeit, auf die Hafeneinfahrt irgendwelche Wirkung auszuüben, für den Spülstrom nur dann vorhanden ist, wenn er auf seinem Wege wenig Widerstand erfährt.

Auf die Barre kann er nur wirken, sobald sein Austritt aus der Einfahrt strahlartig erfolgt. Es muß ihm deshalb, noch bevor er die Mündung erreicht, eine bestimmte Richtung angewiesen werden, welche er vermöge der Trägheit auch im freien Meere längere Zeit beizubehalten bestrebt ist. Die Bedingungen sind im Uebrigen ähnliche wie für den Ausfluß aus Ansatzröhren. Je größer die Anfangsgeschwindigkeit und je größer die Wassermenge, um so größer ist

1) Hagen, a. a. O.

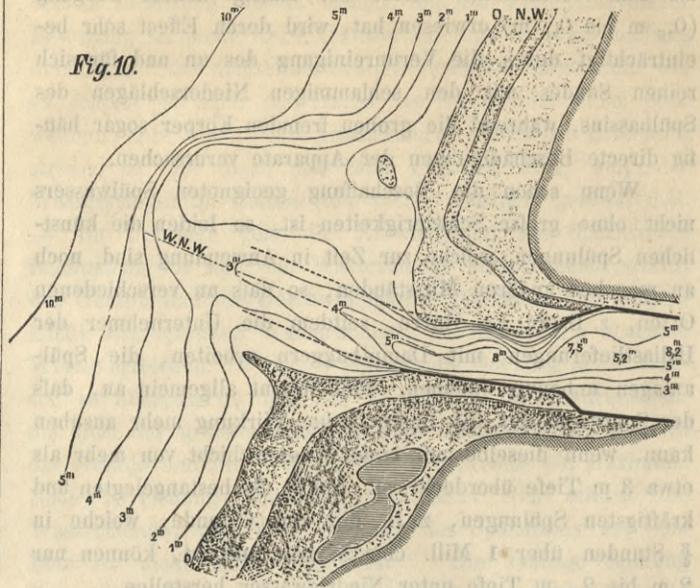
die Spülwirkung. Gerade wie die conische Form der Ansatzröhren, wird eine Verengung der im Uebrigen schlauchförmig angelegten Molen nach der Einfahrt zu günstigen Effect auf den Ausfluß haben. Hierbei ist es besser, dieselben nicht geradlinig convergiren zu lassen, sondern den Spülstrom durch die nicht allzu scharfe Krümmung eines der Hafendämme längs demselben zu concentriren. Infolge der inneren Reibungen geht zwar ein gewisser Theil der lebendigen Kraft verloren; doch wird der verbleibende Rest um so wirksamer zusammengehalten und auf die Stelle geleitet, wo man der Spülkraft bedarf.

Man würde den genannten Zweck, den Spülstrom concentrirt auf die Barre zu leiten, auch in anderer Weise, etwa durch einfache Leitwerke, welche nur wenig über Niedrigwasser liegen, erreichen können. Doch ist man von dieser Anordnung allgemein zurückgekommen, da bei höheren Wasserständen die flachen Molen als Klippen wirken, da ferner die Wellen alsdann mit voller Stärke in den Außenhafen eintreten, ja durch die Brandung auf den Leitwerken sogar noch verstärkt werden. Um also einestheils indirect den Zugang zum Hafen nicht zu erschweren, dann aber auch direct die Einpassirung der Schiffe zu erleichtern, hat man nachträglich die Leitwerke mit Leinpfadbrücken in starker Holz- oder Eisenconstruction versehen, oder man hat auch wohl von vorn herein die Hafendämme durchbrochen (als *jetées à claire voie*) angelegt. Man war der Ansicht, die durchbrochenen Molen würden den Strand nicht vorschieben. Es ist zwar richtig, daß die Querströmungen, welche durch die Lücken der Leinpfadbrücke veranlaßt werden, die Erhöhung des angrenzenden Strandes über Niedrigwasser erschweren und wenigstens für längere Zeit verhindern. Die Schlußwirkung wird aber, nur etwas später eintretend, genau dieselbe sein wie bei voll gebauten Hafendämmen.¹⁾

Ein Beispiel, welches oft als Beweis des Gegentheiles angeführt wird, die Molenanlage der Adourmündung, dürfte eine nähere Besprechung verdienen. An der Adourmündung²⁾ sind nämlich nach dem Muster einer im Binnenmeer, an der Mündung der Regii Lagni in Neapel, ausgeführten Anlage durchbrochene Molen gebaut worden, deren als Leitdämme dienende Steinschüttungen weit unter Niedrigwasser ihre Kronenlage haben, — 2 m nach dem Lande zu, — 3 m am seeseitigen Ende. Der in freier See liegende Theil hat als Tragpfeiler der Leinpfadbrücke gußeiserne Säulen von 2 m Durchmesser erhalten, in Axenabständen von je 5 m mittelst comprimirter Luft versenkt. Die Steinschüttungen umgeben dieselben und verbinden ihre Fußpunkte continuirlich. Der Anschluß an das Land wird durch höher liegende Steinschüttungen, welche mit weit geöffneten Leinpfadbrücken, die auf schmiedeeisernen Jochen, noch mehr landwärts auf gemauerten Pfeilern aufrufen, bewirkt. Der hauptsächlich von N. her zugeführte Kies und Sand wandert durch die Mole in den Einfahrtscanal und lagert dort bis etwa in die Mitte desselben eine Bank ab (Fig. 10), wodurch die Strömung an der nach dem Lande zu vollwandigen, weiter seewärts offenen Südmole concentrirt wird. Ein weiteres Vorrücken ist hierdurch

erschwert, ebenso eine allzugroße Erhöhung, da die Spülung, besonders zur Zeit der Schneeschmelze in den Pyrenäen ungemein kräftig ist. Die continuirlich zugeführten Sinkstoffe müssen daher zum größten Theil mit dem Spülstrom nach der Mündung zu wandern, wo sie sich zunächst auf der Barre ablagern, sehr bald aber vom Küstenstrom nach dem südlichen Ufer transportirt werden. Ein Theil wird auch direct von der Querströmung durch die Lücken der Südmole getrieben. Die ursprüngliche Kronenlage der Leitdämme betrug 4 m unter Niedrigwasser, welche Höhe sich jedoch als zu gering erwies.

Fig. 10.



Die Wirkung ist trotz des ungemein starken und ständig in Action befindlichen natürlichen Spülstroms lange nicht so bedeutend, als man hoffen zu dürfen glaubte. Die Rinne auf der Barre wechselt zwar weniger häufig ihre Lage, hat jedoch an Tiefe nicht erheblich gewonnen. Die Vorwanderung des Strandes ist durch die beschriebene Anlage zwar in engere Grenzen gewiesen (wiewohl sie keineswegs ganz verhindert wird) und jedenfalls bedeutend verlangsamt. Die Barre dient als Zwischenstation für den größten Theil der vom Küstenstrom zugeführten Materialien. Und wenn man berücksichtigt, daß deren Menge relativ gering, der Spülstrom aber außerordentlich stark ist, so erscheinen die tatsächlichen Resultate nicht belangreich. Hierzu kommt, daß die Einschnürung des Einfahrtscanals innerhalb der Molen für die Schifffahrt kaum weniger nachtheilig ist als die äußere Barre. Selbst wenn, wie man hofft, eine Fortsetzung der Hafendämme bis auf die Barre ein weiteres Vorschieben derselben nicht zur Folge haben wird, so ist doch eine Vertiefung der Rinne in großem Maasse schwerlich zu erwarten, da der Spülstrom durch die Lücken der Molen seitlich ausweicht, bevor er hoch genug angestaut wird, um die zum Durchbrechen der Barre erforderliche Kraft entwickeln zu können.

Eine ähnliche Erscheinung, wie sie an der Adourmündung sich zeigt in der stetigen Abnagung der von der Nordseite her in den Einfahrtscanal hereinragenden Bank, ist bei verschiedenen Häfen beobachtet worden, wo unmittelbar vor dem Kopf desjenigen Hafendammes, der vom Küstenstrom zunächst getroffen wird, die Ablagerung von Kies oder Sand zungenartig vorspringt. Diese Zunge lenkt zwar den Spülstrom ab; doch gerade infolge dessen greift derselbe

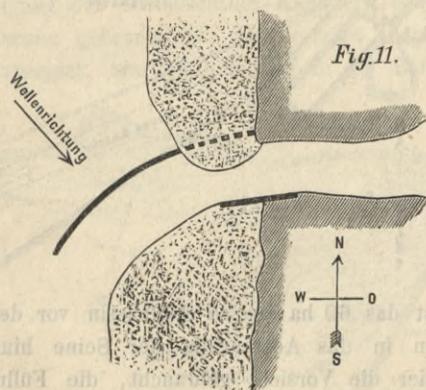
1) Vgl. Cap. 2.

2) Lieussou, Renaud et Payen, Moyens pour améliorer l'entrée de l'Adour. 1856. Bouquet de la Grye, Rapport sur l'embouchure de l'Adour. 1861.

ihren inneren Rand ständig an, da er seine alte Richtung beizubehalten sucht. Die Wirkung des Spülstroms ist dann intensiver wie in denjenigen Fällen, wo die Barre in weiterem Abstand von der Mündung liegt.

Um auch in größerer Entfernung die Intensität noch zu erhalten, hat man wohl mehrfach bewegliche Leitdämme (guideaux), z. B. in Dunkerque, angewandt, welche einige Zeit vor der Spülung an Ort und Stelle gefloßt und dann aufgerichtet werden. Außerhalb der Hafendämme lassen sie sich natürlich nur bei sehr ruhiger See verwenden. Da jedoch die Spülung des Inneren besser unterbleibt und durch Baggerung ersetzt wird, die concentrirte Führung des Spülstroms bis zur Hafenmündung aber zweckmäßiger durch angemessene Form der Molen und passenden Abstand derselben zu bewirken ist, so kann die Verwendung solcher beweglichen Leitdämme wohl zur Aushilfe bei älteren Anlagen empfehlenswerth sein, darf aber schwerlich als wesentliches Element in eine Neuanlage aufgenommen werden.

In anderer Weise läßt sich bei Neuanlagen weit wirksamer der Spüleffect vermehren. Dadurch nämlich, daß man den Winkel, welchen der Spülstrom mit der herrschenden Windrichtung einerseits, mit dem Küstenstrome andererseits einschließt, möglichst weit von -180° abweichen läßt. Könnte erreicht werden, daß der austretende Spülstrom nahezu in demselben Sinne sich bewegt wie der Wellenschlag und die Küstenströmung, so müßte sein Effect unter allen Umständen ein bedeutender sein. Diese Erwägung bestimmte Bouquet de la Grye, für die Adourmündung eine total von der jetzigen abweichende Molenform in Vorschlag zu bringen. Um die Richtigkeit seiner Anschauung in kleineren Verhältnissen zu versuchen, projectirte er zunächst eine analoge Anlage für den kleinen Hafen von Cap-Breton, die jedoch bis jetzt nicht in Anwendung gekommen ist. Auch hier geht die Richtung der Wandersände von N. nach S.; die Dünung kommt mit großer Kraft von N.W. Es wurde daher beabsichtigt, zwei annähernd parallele Molen



von ungleicher Länge anzulegen (Fig. 11), welche an ihren Wurzeln senkrecht zur Küste gerichtet, dann aber sanft nach S. W. umgebogen werden sollten. Die nördliche Mole würde landseitig durchbrochen, seawärts jedoch vollwandig zu construiren sein, die kürzere Südmole dagegen in ganzer Länge vollwandig. Der von N. zuwandernde Sand würde voraussichtlich eine Bank in ganzer Breite der Durchbrechung in die Einfahrtsrinne vorschieben, welche den Spülstrom gegen die Südmole drängt. Da derselbe hier nicht abweichen kann, würde die Bank kräftig abgebrochen werden, und die aufgelöste Masse bei Ebbeströmung, durch den voll-

wandigen Theil der Nordmole gegen Wellenschlag geschützt, nach S. wandern. Der Südstrand würde sich zwar vollständig ausbilden, ohne jedoch die Hafenmündung zu gefährden. Die Bildung einer Barre bleibt bei diesem Project so lange vermieden, bis die Vorwanderung des Strandes von N. her die nördliche Mole eingeschlossen hat. Die Anlage einer Durchbrechung wird diesen Zeitpunkt zwar erheblich verzögern, aber keinesfalls ganz verhindern. Sobald derselbe erreicht ist, würde man genöthigt, den durchbrochenen Theil des Hafendamms vollwandig auszubauen. Aber auch dann behält die Einfahrt ihre günstige Richtung und günstige Form gegen Dünung und Küstenstrom. Küstenstrom und Spülstrom stehen alsdann in einem ähnlichen Verhältniß zu einander, wie ein Binnenstrom zum Nebenflusse, dessen Mündung bei künstlichem Ausbau gleichfalls stets stromabwärts gerichtet wird.

Will oder kann man so bedeutende Concessionen den Rücksichten auf Erhaltung der Tiefe, was zu deren Gunsten eventuell auf Kosten der bequemen Einsegelung geschehen müßte, nicht machen, so sind doch jedenfalls starke Ablenkungen, plötzliche Profilwechsel und trichterförmige Erweiterungen der Molen zu vermeiden, durch welche sehr oft die Spülströme ausgeführter Hafenanlagen in hohem Grad geschwächt und beeinträchtigt werden.

§. 25. Die Wirkungsweise der Spülung. — Erosive Wirkung.

Der Spülstrom bietet in fast allen wesentlichen Eigenschaften die schlagendsten Analogieen mit den natürlichen Flußläufen des Binnenlandes. Um so auffälliger erscheint es daher auf den ersten Blick, daß sämtliche Beobachtungen überaus große Geschwindigkeiten für die Lösung und Fortbewegung der auszuspülenden Materialien als erforderlich ergeben haben, weit größere, als sie in Flüssen erfahrungsmäßig erforderlich sind. Nach Lenz verlangt die Ausspülung schlickigen Bodens ca. $0,75$ m per Sec. mittlere Geschwindigkeit, die Ausspülung von Sand sogar $1,50$ m bis $2,00$ m, während nach Dubuat bekanntlich etwa $\frac{1}{10}$ dieser Werthe dem Zustande des labilen Gleichgewichts in Flüssen entsprechen würde. Es erklärt sich dies einfach aus dem Umstand, daß die Angaben für Flüsse auf die Fortbewegung, die Angaben für Spülströme aber auf das Inbewegungsetzen sich beziehen.

Die Wirkung des Spülstroms ist eine doppelte, eine erosive und eine transportirende. Bei weitem der größte Theil der Spülkraft wird durch die Erosion aufgezehrt, so daß nur relativ geringe Massen überhaupt in Bewegung kommen. Bei Flüssen wird die Erosionswirkung zur Zeit der großen Hochwässer ausgeübt; die Geschiebe, einmal in Bewegung gebracht, erfordern nur geringe Geschwindigkeiten, in derselben erhalten zu werden. Auch die kleinen Nebenflüsse mit starkem Gefälle und großen Geschwindigkeiten übernehmen für einen Theil der am Boden größerer Ströme fortgewälzten Materialien die kraftverzehrende Arbeit des Lösens.

Hierdurch erklärt sich auch die stets von neuem bestätigte Erscheinung, daß bei den in gewissen Perioden mehrfach kurz auf einander folgenden Spülungen die erste weit bessere Resultate ergiebt als die folgenden. Der frisch abgelagerte Sand bedarf nämlich, um in Bewegung gesetzt zu

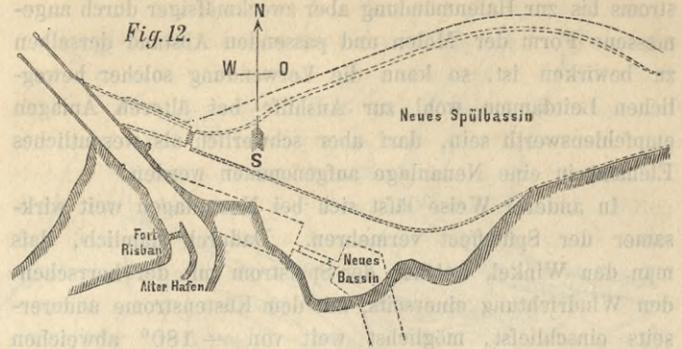
werden, viel weniger Kraft als der schon seit längerer Zeit abgelagerte, welcher durch die späteren Niederschläge comprimirt ist, außerdem aber durch Ausfüllung der Zwischenräume mit Schlick und feineren Sandkörnchen oft fast steinartige Härte erreicht hat. In Dunkerque wurde z. B. durch Minard beobachtet, ¹⁾ „dafs nach der Ausbildung des Spülstromes während der ersten 15 Minuten stellenweise eine Vertiefung von 3 Fufs eintrat, dafs jedoch die späteren Aenderungen sehr unbedeutend und kaum noch zu erkennen waren. Es wird aber darauf aufmerksam gemacht, dafs dieser sehr grofse Erfolg nur dadurch veranlafst war, dafs man vorher seit 14 Tagen nicht gespült hatte.“ Die am ersten Tage beseitigte Masse dürfte also vermuthlich die Ablagerung sein, welche in jener Periode erfolgt war. Eine kontinuierliche Spülung würde diese Ablagerung überhaupt nicht haben aufkommen lassen, selbst wenn ihre absolute Stärke nur gering gewesen wäre.

Dafs die thatsächlichen Ergebnisse der künstlichen Spülungen verhältnismäfsig so ungemein geringe sind, hat seinen Grund ferner zum grofsen Theil in der allzuweiten Entfernung der Spülschleusen von dem Orte, an welchem die Erosion statthaben soll. ²⁾ „Die heftigen Wirbel, welche sich vor der Schleuse bilden, zerstören schon einen grofsen Theil der dem Wasser mitgetheilten lebendigen Kraft; und dieses geschieht in noch höherem Maafsse, indem es sich über den ganzen Vorhafen verbreitet. — Sobald der Strom aus der Spülschleuse tritt, die jedesmal eine viel geringere Breite als der Hafen hat, so zeigt sich nämlich dieselbe Erscheinung, welche man allgemein bemerkt, so oft ein Strahl bewegten Wassers in eine ruhende Wassermasse dringt. Die letztere wird, so weit sie den ersteren berührt, von diesem mit fortgerissen; und indem hierdurch das Niveau sich senkt, so fliefsen seitwärts in entgegengesetzter Richtung andere Wassermassen hinzu, die aber wieder vom Spülstrom gefafst und in der Richtung desselben fortgeführt werden. In dieser Art bilden sich drehende Bewegungen oder Wirbel, die nicht nur einen bedeutenden Theil der lebendigen Kraft consumiren, sondern auch stellenweise sehr starke Vertiefungen zu veranlassen pflegen. Durch letztere wird oft die Spülschleuse selbst gefährdet; und man mufs daher eine solche mit grofser Vorsicht fundiren, namentlich aber für die gehörige Sicherung und hinreichende Ausdehnung des Sturzbettes sorgen.“ Mit anderen Worten heifst das: man mufs den besten Theil der Spülkraft künstlich tödten, weil seine Wirkung an einem unrichtigen Orte erfolgt.

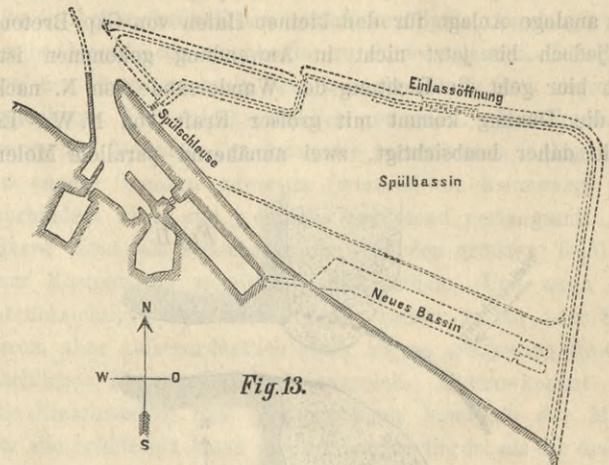
Dieser schwerwiegende Uebelstand ist schon seit lange erkannt, ohne dafs man jedoch versucht hätte, das Uebel bei der Wurzel zu fassen: die Spülschleusen nicht am inneren Ende des Vorhafens, auch nicht am inneren Ende des Aufsenhafens, sondern an der Hafenmündung selbst anzulegen, wie dies zur Zeit in Honfleur geschieht.

Das wichtigste Bedenken, welches derartigen Anlagen entgegenstand, war vermuthlich die Scheu, Spülbassins im freien Meere anzulegen. Die meisten Spülanlagen benutzen Fluthbassins, Festungsgräben oder Sammelcanäle von Entwässerungsanlagen als Reservoir; oder es werden doch die

Ufer der besonders zum Zweck der Spülung angelegten Becken als Lagerplätze für Holz und ähnliche Güter, zum Anschluß industrieller Etablissements, für Werfte u. s. w. ausgenutzt. Man ist durch alle diese Nebenzwecke in der freien Disposition der Spülungen sehr stark behindert. Erst in allerneuester Zeit hat sich die Ansicht Bahn gebrochen, dafs die Erhaltung der Tiefe auf der Barre wichtig genug ist, um besondere, für sie allein bestimmte Anlagen herzustellen. Mehrfach wurden Projecte verfaßt, Spülbassins dem Meere selbst abzugewinnen. Beispiele für die Verwirklichung dieses Gedankens sind die im Bau befindlichen Anlagen in Calais und in Honfleur.



In Calais (Fig. 12) hat man durch einen Deich von $2\frac{1}{2}$ km Länge eine Fläche von ca. 100 ha, deren größerer Theil für die Anlage eines Reservoirs dient, beschafft. Die Spülschleuse mündet der bereits in Wirksamkeit befindlichen, nach dem Fort Risban benannten, gegenüber schräg in den Aufsenhafen, so dafs die von O. und von W. kommenden Ströme gegen denselben Punkt convergiren. In Honfleur



(Fig. 13) ist das 60 ha grofse Spülbassin vor dem eigentlichen Hafen in das Aestuarium der Seine hineingebaut. Man hat hier die Vorsicht gebraucht, die Füllung durch besondere Oeffnungen zu bewirken, welche mit Klapphoren geschlossen sind, um durch deren allmähliches Schliesen nur die weniger schlickreichen Wasserschichten in das Reservoir eintreten zu lassen. ¹⁾ „Die Wirkung der Spülungen, zweifelhaft in vielen anderen Fällen, scheint hier das einzig anwendbare Mittel zu sein, um die Zugänge zum Hafen rein und die Einfahrt frei zu halten. Die Aufgabe ist, eine Rinne in einer Bank aus beweglichem schlickigen Sande herzustellen und stets neu zu öffnen; und dies kann nur geschehen, wenn die Niederschläge sofort nach ihrer Bildung wieder

1) Hagen, Seebau III. p. 43.

2) Hagen, a. a. O.

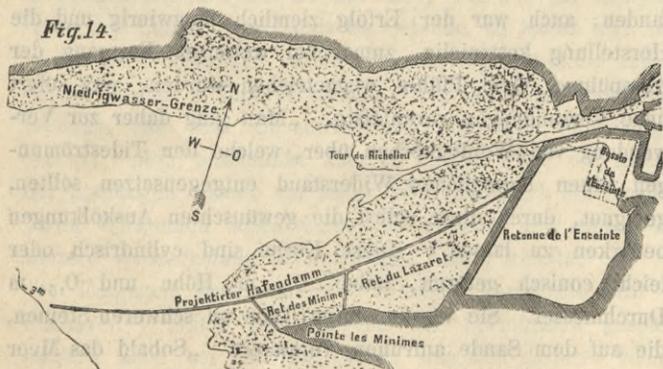
1) Manen, Bassin de retenue des chasses à Honfleur.

weggerissen werden. — Die zur Anlage des Reservoirs ausgewählte Stelle ist durch locale Verhältnisse vorgeschrieben. Man kann thatsächlich an keinem anderen Platz ein Bassin von einer so bedeutenden Ausdehnung anlegen, daß es dem beabsichtigten Zwecke würde genügen können.“

Ein anderes Bedenken gegen die Anordnung der Spülschleusen dicht neben der Hafeneinfahrt war wohl die Besorgniß, die Thore möchten zu sehr vom Wellenschlage leiden. Es ist natürlich, daß man dieselben nicht unmittelbar dem Wogenpralle aussetzen darf. Doch lassen sie sich, z. B. durch Vorbau eines zweiten Systems von Thoren ohne Bohlenbekleidung, die dem Wellenschlag wenig Angriffsfläche bieten, dabei aber seine Kraft brechen, genügend schützen, auch wenn man auf jene günstige Lage nicht verzichten will. Vorschläge ähnlicher Art sind mehrfach gemacht.¹⁾

Uebrigens ist die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, die Ausmündung des Spülstroms nahe an oder in die Einfahrt zu legen, ohne die Spülbassins dortselbst anzuordnen. Man würde nämlich, wenn dieselben in weiterem Abstände liegen, einen gemauerten Canal nach der Mole und in derselben entlang führen können.²⁾ Bouquet de la Grye hat für die neuprojectirte Hafenanlage in der Mare de la Besse bei La Rochelle vorgeschlagen, das Spülreservoir in größerer Entfernung vom Hafen anzulegen, wo eine sumpfige Niederung die Möglichkeit einer billigen Herstellung gewährt. „Um den Aufsenhafen und die Rinne rein zu halten, könnte man in der ganzen Länge derselben eine Reihe von schmiedeisernen, mit Löchern versehenen Röhren aufstellen, wie für einen der Häfen am Canal La Manche vorgeschlagen war; diese Röhren würden mit dem Reservoir communiciren. Ein zweites, practischeres Verfahren bestünde darin, einen gemauerten Canal in der massiven Mole auszusparen und durch staffelförmig angebrachte Spülöffnungen, welche von dem Bassin aus zu speisen wären, die Sinkstoffe aufzuwühlen und wegzuführen.“

Die staffelartige Anordnung von Spülöffnungen, welche zur Reinigung der Schleusenthor-Kammern bereits mehrfach in Ausführung gebracht ist, hat derselbe Ingenieur für das Alternativproject, eine Hafenanlage in der Baie de La Ro-



chelle, in Aussicht genommen (Fig. 14). Für den Fall, daß die jetzige Lage des Hafens beibehalten bleiben sollte, würde nach seinem vorzüglich durchgearbeiteten Gutachten eine nach Süden convex gekrümmte Mole in die Bai einzubauen sein, welche 1400 m von der Pointe des Minimes die 3 m-Tiefenlinie erreicht. Die Rinne soll nördlich derselben durch

Spülung aus zwei Bassins, die im Zwischenraume zwischen dem Südufer und der Mole anzulegen wären, offen gehalten werden, außerdem durch Spülung aus einem dritten Bassin hinter der jetzigen Ufereneinfassung und aus den Fluthbassins. Die Flächen der drei Reservoirs sind zu 10 ha, 31,80 ha und 42,30 ha angenommen. Das innere Bassin müßte eine Schleuse mit 8 m Thorweite, das zweite zwei Schleusen von je 4 m Thorweite, das dritte eine solche von 2,50 m Weite erhalten. Dieselben würden, von innen beginnend, successive zu öffnen sein. „Dieses System erinnert an den Giffard'schen Injector. — Man wirkt durch successive Stöße gegen eine in Bewegung befindliche Masse. Bei jeder Spülöffnung muß daher eine allgemeine Geschwindigkeitszunahme entstehen; es wird eine größere Wassermasse aus dem nördlichen Theil der Bai mitgerissen und in dieser selbst eine elliptische Wirbelbewegung erzeugt, welche mehr als hinreichend erscheint, die Reinhaltung herbeizuführen.“ Die Tiefen, welche sich dabei längs der Mole selbst ausbilden, müssen ganz bedeutende sein, da die Geschwindigkeit des Spülstroms außerordentlich groß ist, ca. 4 bis 5 m per Sec.

§. 26. Mittel zur Beförderung der erosiven Wirkung des Spülstroms.

Für die Reinigung der Einfahrt zur Mare de la Besse hat Bouquet de la Grye in dem angeführten Citat noch ein anderes System empfohlen, nämlich die Spülung aus schmiedeisernen, mit Löchern versehenen Röhren. Es rührt dieser Vorschlag vom Civilingenieur Bergeron her, der im Mai 1874 über sein Project einen Vortrag im französischen Civil-Ingenieurverein hielt.¹⁾ „Ich habe an die Verwendung metallischer Röhren, mit Löchern versehen, gedacht, welche in die wegzuspülende Sandbank versenkt werden sollen. Man würde in dieselben Wasser unter starkem Druck eintreten lassen, das bei seinem raschen Austritt aus den Löchern eine Reihe von eben so vielen kleinen Quellen bilden müßte, wodurch der Sand aufgetrieben und seawärts oder auf den Strand geführt werden würde durch den Spülstrom oder durch die Ebbeströmung. — M. Plocq, Ingénieur en chef in Dunkerque, ist der Ansicht, daß die Wassermasse, welche aus den Spülbassins austritt, sobald sie am Ende der Molen Rinnen oder tiefe Gräben findet, die von den Quellen, welche beim Austritt aus den Metallröhren den Sand aufwirbeln, erzeugt sind, sich in dieselben stürzen, sie erweitern und den Sand, welcher die Hafeneinfahrt versperret, in die hohe See treiben wird.“

Bergeron geht von der Meinung aus, die Ebbeströmung, welche in Dunkerque bis zu 1,50 m per Sec. Geschwindigkeit annimmt, würde für den Transport vollkommen genügen, wenn man durch sein Verfahren nur für die rechtzeitige Erosion sorgte. „Die Tideströmungen gleiten über die Oberfläche der Bänke weg wie über ein Betonbett. Die Sandkörnchen und die feinen Schlicktheilchen haben sich ineinander geprefst und festgezängt; sie bilden einen widerstandsfähigen Boden, auf dem man umhergehen könnte, ohne daß der Fuß einsänke. — Man kann sich hierdurch erklären, daß selbst von den Spülströmen die Sandbänke nur wenig angegriffen werden. Wenn jedoch durch das genannte Verfahren der Sand aufgewühlt wird und sich mit dem darüber

1) Bouquet de la Grye, Baie de La Rochelle.

2) Bouquet de la Grye, Baie de La Rochelle.

1) Mémoires et compte rendu de la société des ingénieurs civils 1874 p. 280.

streichenden Wasser mengt, so ist klar, daß er mit demselben von der Strömung weggetrieben werden muß. Die Tideströmung allein hat ihn herbeigeführt; sie wird ihn auch wieder wegführen können, wenn er von Neuem in Auflösung sich befindet.“

Sowohl der Erfinder, als andere, besonders englische Ingenieure haben das bezeichnete System mit Modificationen verschiedener Art zur Ausführung lebhaft empfohlen, ohne daß es über vorbereitende Versuche hinaus gekommen wäre. Die in Boulogne vorgenommenen Proben fielen sehr ungünstig aus, hauptsächlich da sich die Löcher verstopften und nur zum kleinsten Theil zur Wirkung kamen, und da der aufgespülte Sand, weil die spülende Wassermenge zu gering war, um ihn weiter zu tragen, sofort wieder zu Boden fiel. Eine erfolgreiche Zukunft ist für das System Bergeron wohl schon deshalb kaum zu erwarten, weil die Möglichkeit, diese Apparate bei einigermaßen starkem Seegang in Action zu bringen, höchst problematisch scheint.

Dagegen ist in Dunkerque eine andere, von Bergeron ebenfalls angeregte, Idee zur Ausführung gelangt, nämlich die Unterstützung der Spülung durch Saugebagger. ¹⁾ „Die Einfahrtstrinne ist eine künstlich im flachen Sandstrande erhaltene Furche, bis etwa 600 m jenseits der Molenköpfe reichend. Die Strandmaterialien wandern infolge der gemeinschaftlichen Wirkung der Strömung und des Wellenschlags von W. nach O., und sind ständig bestrebt, die Furche auszufüllen; außerdem werden durch die S. W.-Winde zeitweise plötzliche Anhäufungen von Sand veranlaßt; Massen von 30000 bis 40000 cbm schlagen sich in weniger als 14 Tagen auf der westlichen Hälfte der Rinne nieder, engen ein und versperren sogar zuweilen die Hafeneinfahrt. — Man arbeitet z. Z. an einer Verdoppelung der Spülkraft durch Anlage neuer Reservoirs, und man hofft, daß durch dieselbe allein, wenn sie in solcher Weise vermehrt wird, jederzeit die nothwendige Tiefe von 3 m in dem vorderen Theil der Rinne, etwa 300 bis 400 m jenseits der Molenenden, erhalten werden kann. In dem seawärts gelegenen Theile würde jedoch die Barre nicht mit genügendem Erfolg durch die Spülung allein angegriffen werden können, weshalb sich die Verwaltung der öffentlichen Arbeiten entschlossen hat, hier durch Baggerung dieselbe Tiefe herzustellen und zu erhalten wie am landseitigen Ende.“ Der seit 1877 dauernd verwandte Saugebagger der Compagnie des Fives-Lille hat die beabsichtigte Wirkung, da er bei mäßigem Seegang noch erfolgreich arbeiten kann und Prähme nicht bedarf, durch Herstellung von Löchern in der Barre, deren Reihenfolge dem Spülstrom, auch dort, wo seine Kraft nur mehr gering ist, den Weg anweist, im großen Ganzen erreicht. Andere Methoden der Baggerung und vereinfachte, solidere Apparate können dies, wie neuere Versuche zu beweisen scheinen, in noch höherem Grade.

Doch gilt hier dasselbe, was früher von der Verwendung beweglicher Leitdämme gesagt wurde. Die Benutzung der Seebagger zur Offenhaltung der Rinne ist ein vorzügliches Aushilfsmittel bei bereits bestehenden Hafenanlagen. Es würde dagegen unrichtig sein, vorausgesetzt daß sich andere Mittel für die Erhaltung der Einfahrtstiefe auffinden lassen, die Baggerung in freier See als wesentliches Element bei

Neuanlagen einzuführen. Der Hauptwerth dieser Methode liegt weniger in der Förderung des Baggergutes selbst, als vielmehr in der Vorbereitung eines Wegs für den Spülstrom, dessen erosive Wirkung hierdurch erheblich begünstigt wird.

Andere mechanische Mittel zu gleichem Zwecke sind vielfach vorgeschlagen, jedoch nur in beschränktem Maasse zur Anwendung gekommen, da sie während der Zeit, wo man ihrer am meisten bedarf, bei stürmischer See, den Dienst versagen. Speciell für die Offenhaltung der Zugänge zur Rhede von Dunkerque schlug 1862 De La Roche-Poncié ¹⁾ vor, die Spülkraft der Tideströmungen zu verstärken „durch Aufwühlung des Grundes auf mechanischem Wege, etwa mittels eines Pfluges, der von einem Dampfboote hin und her bewegt werden sollte.“ Aehnliche Vorrichtungen wurden mit großem Erfolg mehrfach bei Neubauten an geschützteren Orten angewandt, z. B. bei der Austiefung des „Aufsenfahrwassers“ zu Emden und bei Anlage der Hafeneinfahrt von Nieuwe-Diep. Auch zur Reinigung der Priele vor Sielen bedient man sich vielfach eggenartiger Kratzmaschinen, welche den Schlick und Sand so weit lockern, daß die ausgehende Strömung ihn entfernen kann.

In Honfleur sollen nach einer Angabe von Lavalley in früheren Jahren Arbeiter durch Harken kurz vor Beginn der Spülung den schlickigen Sand aufgewühlt haben. 1872 entschloß sich M. Arnoux, ²⁾ Ingénieur des Ponts et Chaussées, „eine Rinne durch die Sandbank mit Hilfe einer durchbrochenen Pfahlreihe zu öffnen (ausgehend von den Versuchen an der Mündung der Regii-Lagni, nach deren Muster auch die Molen an der Adourmündung erbaut sind). Dieser Versuch, auf einer Länge von etwa 50 m unternommen, ergab bemerkenswerthe Resultate. Man nahm wahr, daß die Tideströmungen bei einer einzigen Tide rings um die kleinen in den Sand eingetriebenen Pfähle Kolke von 0,80 m bis 1,00 m Tiefe aufwühlten. Da die Pfähle nur in Abständen ihres doppelten Durchmessers von einander entfernt standen, bildet die Aneinanderreihung der Kolke einen förmlichen Graben.“ Diese Anordnung belästigte jedoch die kleinen Fischerboote, welche bei Hochwasser ihren Weg versperrt fanden; auch war der Erfolg ziemlich langwierig und die Herstellung kostspielig, zumal bei weiterem Fortgang der Ausspülung viele Pfähle weggetrieben wurden, was sofort neue Versandungen veranlaßte. „Man ging daher zur Verwendung von Weidenkörben über, welche den Tideströmungen einen beweglichen Widerstand entgegensetzen sollten, geeignet, durch diese selbst die gewünschten Auskolkungen bewirken zu lassen.“ Diese Körbe sind cylindrisch oder leicht conisch geformt, haben 0,60 m Höhe und 0,50 m Durchmesser. Sie werden durch Taue an schweren Steinen, die auf dem Sande aufruhend, verankert. „Sobald das Meer steigt, ist der Korb bestrebt, zu schwimmen und sich zu erheben, während das Tau ihn niederhält. So wird eine Reihe von Hebungen und Senkungen veranlaßt, wodurch der Strom fortwährenden Aufenthalt erfährt, so daß er, so zu sagen: eingezwängt, den Sand aufwühlt, der nunmehr aufgelöst und weggeführt wird. Andererseits verursacht die Strö-

1) De La Roche-Poncié, Côte Nord de France.

2) Arnoux, Redressement du chenal du port d'Honfleur. Ann. d. Ponts et Chauss. 1873. I. Sem. p. 489.

1) Notices. Exposit. univ. à Paris en 1878.

mung, indem sie sich in dem Korbe fängt, eine Drehung desselben, und durch diese wirbelartige Bewegung erweitert sich der Kolk. Bei der Ebbe treten dieselben Erscheinungen in entgegengesetzten Sinne auf; und es genügt eine einzige Tide, um ein Loch von 0,80 m bis 1,00 m Tiefe mit einem Durchmesser von ca. 3 m zu erzeugen.“ — Mit Hilfe von 80 Körben, die in 2,50 m Axenabstand verlegt waren, wurde in 2 Tagen eine 200 m lange, 5 bis 6 m breite, 1,30 m tiefe Rinne hergestellt, welche vom Spülstrom sofort aufgenommen und erweitert wurde.

Eine ähnliche Wirkung beabsichtigt Garnhams Patent,¹⁾ demzufolge eine Art von Schiffsschraube an einem in den Sand verankerten Kabel angebracht werden soll, welche durch die Strömung in Drehung versetzt wird und so den Sand aufwühlt. Dieses Mittel und andere gleicher Art sind weniger ihrer selbst wegen von Interesse, als weil sie beweisen, daß man allgemein einen Mangel empfindet, welcher zur Zeit die Spülungen von fragwürdigem Werthe erscheinen läßt, den Mangel nämlich, daß ihre erosive Wirkung an derjenigen Stelle, wo sie am meisten nothwendig ist, völlig unzureichend erscheint.

§. 27. Die Wirkungsweise der Spülung. — Transportirende Wirkung.

In den meisten Häfen, welche durch künstliche Spülung ihre Einfahrtstiefen frei halten, wird nur zur Zeit der Springfluthen gespült.²⁾ „Man beginnt gewöhnlich am Tage des Voll- oder Neumondes, also in einer Zeit, wo der Fluthwechsel noch nicht die volle Gröfse erreicht hat, und fährt damit 6 Tage nach einander fort. — Gemeinhin wird an jedem Tage nur eine einzige Spülung vorgenommen, weil dabei manche Vorkehrungen getroffen werden müssen, die man nicht übereilen mag. Dazu kommt auch noch, daß an solchen Orten, wo die Hafenzzeit nicht in die Nähe des Mittags fällt, das eine Niedrigwasser oft schon zur Nacht oder während der Dunkelheit eintritt. Eine Spülung ist aber alsdann nicht mehr ausführbar, weil solche für die im Hafen liegenden Schiffe und für kleinere Fahrzeuge, die vielleicht gerade einkommen, gar zu gefährlich sein würde. — Wenn dagegen die Hafenzzeit nahe auf 12 Uhr fällt, wie auf der östlichen Seite des Canals, von Calais bis Ostende, so lassen sich fast immer zwei Spülungen, nämlich eine morgens und die andere abends gegen 6 Uhr vornehmen, und man hat dabei den Gewinn, daß man die stärkeren Fluthwechsel vollständiger benutzt. Man beschränkt aber in diesem Falle die Anzahl der Spülungen wieder auf sechs, weil hierdurch die erreichbaren Wirkungen schon dargestellt werden, und sonach die weitere Wiederholung keinen Erfolg haben könnte.“

Entgegen dem anderorts üblichen Verfahren wird in Cuxhaven³⁾ „nicht nur während der Springtiden gespült, sondern auch bei anderen Tiden, was sich dadurch rechtfertigt, daß die Fluthgröfse sowie die Höhe von Niedrigwasser fast mehr durch den Wind als durch die Stellung der Gestirne bedingt wird, und sich deshalb nie vorher bestimmen läßt.“

Jede einzelne Spülung erfolgt dann so, daß man einige Zeit vor niedrigstem Wasserstand die Thore der Spülschleuse

plötzlich öffnet und die Ausströmung längere Zeit anhalten läßt, 1 bis höchstens 1½ Stunden, wenn die Fluthbassins als Reservoir dienen, andernfalls wohl auch 2 bis 3 Stunden. „Wenn es gelingt, die Oeffnung der Schleusen so abzapfen, daß der Augenblick von Niedrigwasser mit dem der größten Ausflußmenge zusammentrifft, so wird das Gefälle und die Wirkung des Spülstroms ein Maximum. Nach Erreichung desselben vermindert sich schnell die Wassermenge, und eine Wirkung des Spülstromes auf sein Bett ist nicht mehr bemerkbar.“

Vergleicht man diese Thatsachen mit dem häufig constatirten Umstand, daß relativ kleine und schwache continuirliche Spülströme verhältnißmäßig große Tiefe dauernd zu erhalten vermögen, ohne daß ihre Geschwindigkeit jemals auch nur annähernd die Werthe erreicht, welche bei der künstlichen Spülung schon als unwirksam bezeichnet werden, so ist klar, daß die Continuität der Auswässerung eine vorwiegende Rolle spielen muß. Gerade weil die Spülung nur so selten erfolgt, nimmt ihr Effect so rasch ab. In Cuxhaven, wo die Spülungen nur den Zweck hatten, den Vorhafen zu reinigen, waren die erreichten Resultate wohl hauptsächlich deshalb relativ günstige, besonders seitdem man in den vierziger Jahren die compacten Sandschichten durch Baggerung entfernt hatte, weil sie in ziemlich kurzen Zwischenräumen erfolgten.

Es erklärt sich die nicht zu bezweifelnde vortheilhafte Wirkung der langen Dauer jedes Spülstroms, sowie der Wiederholung in kurzen Zeiträumen wohl einfach dadurch, daß die Sandkörnchen nicht Zeit finden, sich in festen Massen abzulagern, welche durch die Schlickkörperchen gleichsam zusammengekittet werden. Die Sinkstoffe bleiben bis in um so größere Tiefen in Bewegung, je häufiger und je nachhaltiger der Spülstrom ist, oder sie werden doch, bevor sie sich zu einer zähen widerstandsfähigen Decke niedergeschlagen haben, wieder aufgewühlt und von der Küstenströmung davongeführt. Eine Barre bildet sich unter allen Umständen; aber die Rinnen bleiben in derselben tiefer und bewahren eine beständigere Lage, je häufiger die eingetriebenen Sandtheilchen losgespült werden, weil diese Losspülung um so leichter stattfindet, je kürzer die Intervalle der Spülung sind.

Die transportirende Wirkung der ausgehenden Strömung kann nur dann ausgenutzt werden, wenn die Erosion genügend vorarbeitet, wenn Massen genug gelöst sind, die weiter transportirt werden können. Wird daher dafür gesorgt, daß auf der Barre selbst zur Zeit des Austritts der spülenden Wassermassen der Sand im schwebenden Zustande ist, so findet eine Fortbewegung aus der für die Schifffahrt gefährlichen Gegend jedesmal statt, wenn die Schleusen geöffnet werden, da dies meistens zu einer Zeit geschieht, wo die Ebbeströmung im offenen Meere nahezu ihre größte Geschwindigkeit besitzt, jedenfalls groß genug, um einmal gelöste Sinkstoffe nicht sofort wieder zum Niederschlag gelangen zu lassen. Je nach der Stärke und Richtung des Wellenschlags dauert die Suspension kürzer oder länger. Das Gesammtresultat wird, wie früher gezeigt, eine Verschiebung und Erniedrigung der Barre, bezw. eine Vertiefung der Rinnen in der Barre sein.

Das Kentern der Tideströmungen erfolgt zwischen Niedrigwasser und halber Fluth, um so früher, je größeren

1) Scientific American 1873. II. 2.

2) Hagen, Seebau III. p. 51.

3) Lentz, a. a. O.

Widerstand die Ausbildung der Fluthwelle erleidet. Da in jener Periode die Geschwindigkeiten gering, momentan sogar Null sind, so wird um diese Zeit die Tendenz der Ablagerung sehr groß. Ein kleiner Theil der vom Ebbestrom mitgeführten Sände lagert sich sofort ab, ein größerer Theil wandert mit dem Fluthstrom wieder zurück und ist bestrebt, die Rinne auszufüllen oder die Barre zu erhöhen, wenn um jene Zeit der Spülstrom bereits aufgehört hat, wie dies bei dem üblichen Verfahren allgemein der Fall ist. Er ist um so mehr hierzu bestrebt, je kräftiger die Brandung auf der Barre ihn in Mitleidenschaft zieht. Diejenigen Sandkörner, welche zu schwer sind, um in Suspension gerathen zu können, legen, auf dem Meeresgrunde fortrollend, einen ähnlichen Weg zurück, wie die schwebenden Sandtheilchen.

Die Kraft des Wellenschlags, welche den Sand von der seeseitigen Böschung auf den Scheitel der Barre wirft, wirkt ununterbrochen. Die Tidenströmungen nehmen in gesetzmäßigen Intervallen ein Maximum an, gehen dann aber auf Null zurück. Die Spülung müßte während dieser Periode das Gleichgewicht herstellen. Ein hervorragender Fehler der üblichen künstlichen Spülungen liegt aber darin, daß der Spülstrom meist gerade dann aufhört, wenn er am wichtigsten ist, nämlich zur Zeit des Kenterns. Im Anfang der Fluthströmung treten bekanntermaßen die stärksten Versandungen ein. Gerade dann müßte die transportirende Wirkung des Spülstroms recht zur Geltung kommen; selbst wenn seine Geschwindigkeit nur mehr gering ist, kann sie die günstigsten Effecte ausüben, da die Fluthströmung selbst anfangs kaum bemerkbare Intensität hat.

Auch in dieser Beziehung ist eine nachhaltige Auswässerung sehr im Vortheil, wie sich das z. B. an Tidenströmen besonders dadurch zeigt, daß die vom Oberwasser verstärkte Ebbeströmung noch längere Zeit fort dauert, während die Fluthströmung vom Meere aus in die Mündung tritt. Es erfolgt dann eine Einzwängung, ja eine Ueberlagerung der Ebbe durch die Fluthströmung, deren Ergebnisse, z. B. in den Mündungsbecken der Seine und der Gironde, äußerst tiefe, niemals versandende, furchenartige Pässe sind.

Die transportirende Wirkung des künstlichen Spülstroms kommt nach dem Vorstehenden nur dann vollständig zur Geltung, wenn man ihn den natürlichen Spülströmen in seiner Dauer möglichst ähnlich macht, nämlich wenn 1) jede Tide zur Spülung benutzt wird, und wenn man 2) die Dauer jeder einzelnen Spülung bis über den Moment des Kenterns der Tidenströmungen (bei Ostende z. B. etwa 2 Stunden nach Niedrigwasser) hinaus ausdehnt.

Die Gründe, welche mit Fug und Recht bei den üblichen Anlagen dahinzielenden Vorschlägen entgegengehalten werden können und müssen, beweisen nur, daß auch in dieser Beziehung eine Reform dringend erforderlich ist, eine fundamentale Reform der Anlagen selbst. Man würde sich nicht vor der Ausführung der Spülungen scheuen, auch wenn ihre unmittelbaren Erfolge scheinbar geringe wären, sobald die anderweite Benutzung der Reservoirs, häufig wichtiger als die Aufspeicherung des Spülwassers, sobald nicht andererseits die ungünstige Ausmündung des Spülbassins in den Vorhafen dem entgegenstände. Durch die Ausnutzung für widerstreitende Zwecke werden sehr oft die Spülanlagen in ihrer Ausnutzung für die Erhaltung der Einfahrtstiefe erheblich beeinträchtigt, während die Spülungen selbst als noth-

wendiges Uebel, sogar als Hemmnis des Schiffahrtsbetriebes, zu dessen Förderung sie bestimmt sind, erscheinen.

Dieselben Mittel, welche im Früheren als am besten geeignet, die erosive Wirkung des Spülstroms zu befördern, bezeichnet wurden, helfen auch dem letztgenannten Uebelstande ab und ermöglichen damit, die Spülungen häufiger vorzunehmen und jeder einzelnen Spülung längere Dauer geben zu können. Diese Mittel aber bestehen in: 1) Anlage des Spülbassins außerhalb des Vorhafens, 2) Anlage der Spülschleuse in Nähe der Hafenmündung.

5. Capitel. Rücksichtnahme auf Wind und Wellen.

§. 28. Die Form der Häfen im Allgemeinen.

Im vorigen Capitel wurden vorzugsweise diejenigen durch künstliche Mittel hergestellten Häfen besprochen, welche mit künstlicher Spülung offen gehalten werden. Es ergab sich, daß dieselben ihrem ganzen Wesen nach sehr viel Aehnlichkeit haben mit den an der Mündung natürlicher Flüsse gelegenen Häfen, ja daß die schlauchartige Form des Außenhafens in gewissem Sinne die Flußmündung repräsentirt.

Eine wesentliche Verschiedenheit zeigen diejenigen natürlichen und künstlichen Häfen, bei welchen als Hauptmoment ihrer Existenz nicht die Erhaltung der Einfahrtstiefe vorangestellt ist, sondern vielmehr die Rücksichtnahmen auf Schutz vor dem Seegang und auf das sichere, bequeme Einlaufen.

An Felsküsten, wo sich sehr oft geräumige Buchten, die nur in geringem Grade der Versandung ausgesetzt sind, finden lassen, genügen zuweilen sehr unbedeutende Arbeiten, um den Wellenschlag, wenn er nicht bereits durch vorgelegene Klippenreihen geschwächt ist, soweit abzutöden, daß die Bucht als sicherer Liegehafen für alle Zwecke ausgebeutet werden kann. Oefters ist es bloß erforderlich, einige Felsen wegzusprenge, welche den Zugangscanal beengen, oder es genügt schon, denselben durch Seezeichen kenntlich zu machen. Oft auch zeigt sich die Nothwendigkeit, den zwar vorhandenen, aber nicht ausreichenden Schutz zu vermehren, entweder dadurch, daß eine der beiden die Bucht abschließenden Vorsprünge durch Vorbau eines Dammes in Richtung der Mündungssehne der anderen mehr genähert wird (La Ciotat), oder daß von beiden Seiten aus derartige Dämme vorgebaut werden (Genua, Holyhead), oder endlich, daß, etwa auf vorhandenem natürlichen Felsen fundirt, in der Mitte der Mündungssehne ein isolirter Wellenbrecher angelegt wird (Saint-Jean-de-Luz). Die Richtung dieser Schutzwälle ist, wenn möglich, derart zu wählen, daß nicht nur die directen Wellenschlag verursachenden Stürme, sondern auch diejenigen Winde, welche Widerprall durch die Quaimauern hervorrufen würden, abgehalten werden.

Ist die Bucht sehr groß, so genügt es wohl auch, nur einen Theil derselben für die Hafenanlage zu benutzen. Wenn gleichzeitig die Wandermaterialien nur gering an Menge und durch Baggerung leicht zu beseitigen sind, so hat man auch wohl den Wellenbrecher parallel zum Uferande gebaut und nur durch Querdämme mit demselben verbunden (Marseille, Triest). Diese Querdämme, Lademolen, die den Zwischenraum zwischen dem Uferande und dem Damm in mehrere bassinartige Theile zerlegen, sind mit Lücken versehen, welche die Verbindung unter einander ermög-

lichen. Durch Vorspringen des Wellenbrechers über den letzten Querdamm wird hierbei der Vorhafen gebildet.

Ist endlich die Küste glattgestreckt ohne natürliche Einbuchtung, so kann eine Bucht künstlich dadurch geschaffen werden, daß zwei Molen, deren landseitige Enden in größerem Abstände von einander liegen, die Hafenfläche umschließen, wobei ihre seeseitigen Enden die Einfahrt entweder direct zwischen sich fassen (Ramsgate, Kingstown, Ymuiden), oder zwei Einfahrten dadurch bilden, daß ein isolirter Wellenbrecher zwischen oder vor den Molenköpfen, welche dann weiter von einander entfernt sein müssen, angelegt wird (Cette, Boulogne). Sowohl bei diesen künstlichen als bei den natürlichen Bassinhäfen ist das Bassin entweder nur Aufsenhafen oder auch Vor-, ja sogar Innenhafen. Im ersten Fall erhält wohl zuweilen der Vorhafen, in welchen die Docks münden, besondere Molen (Ymuiden, Project für Scheveningen) für den Schutz der Einfahrt. Im zweiten Fall münden die Docks direct in das Bassin (Ramsgate); oder es werden Landbrücken vom Ufer aus in dasselbe eingebaut (Neubauten von Genua und Boulogne).

Bei künstlichen Bassinhäfen ist die Form der Hafendämme sehr wichtig für die Geschwindigkeit, mit welcher die bei flachen Sandküsten unvermeidliche Vorwanderung des Strandes erfolgt und für die Grenzen der Wirkungssphäre dieser Vorwanderung, wie im 2. Capitel näher nachgewiesen wurde. Auch die Rücksichtnahme auf den Wellenschlag ist von Einfluß auf die Form. Man muß einspringende Ecken und gegen das Meer zu concave Curven vermeiden, um den Angriff in der Mitte nicht zu vergrößern und die Aufkabelung der See durch Interferenz der directen mit den reflectirten Wellen zu verhindern. Sogar lange Graden können in dieser Beziehung gefährlich werden, besonders in der Nähe der Einfahrt, weshalb eine convexe Krümmung, zum mindesten nach der Seite, von welcher der Seegang am heftigsten kommt, meist zu empfehlen ist.

Eine rasche Erweiterung der Hafenbreite unmittelbar hinter der Einfahrt ist bei dieser Anordnung stets erforderlich. Denn gerade hierin liegt das Charakteristische und der Hauptvorteil, welchen die Bassinhäfen gewähren. Die rasche Ausbreitung der Wellen vermindert in demselben Maße ihre Höhe und damit die Gefahr des Seegangs. In gleicher Weise nimmt die Sicherheit der einfahrenden Schiffe um so mehr zu, je größer, dicht hinter der Einfahrt, der Spielraum für ihre Manöver ist.

Das Hauptmoment, welches bei Hafenanlagen für die Wahl der Bassinform spricht, ist also die Rücksichtnahme auf den Schutz vor Wellen und Wind. Im classischen Alterthum und im Mittelalter war dies Bedürfnis weit mehr maßgebend als die Rücksicht auf Erhaltung der Tiefe, da die damaligen Seefahrzeuge vorzugsweise der Küstenschiffahrt dienten und nur geringen Tiefgang hatten. Erst die großartigen Entdeckungsreisen der beginnenden Reformationszeit hatten allerwärts das Verlangen zur Folge, größere seetüchtige Schiffe zu bauen, deren Tiefgang bedeutender sein mußte, weshalb man auch auf die Erhaltung der Tiefe in der Hafeneinfahrt größeren Werth legte. Während daher im Alterthum und Mittelalter die Bassinform mit Vorliebe für künstliche Hafenanlagen angewandt wurde, überwog seit dem Jahrhundert der Entdeckungen mehr und mehr die Schlauchform. Das Erfordernis, den Spülstrom möglichst lange

concentrirt zu halten, führte, besonders nachdem die Erfindung der Schleusen die Einführung künstlicher Spülungen ermöglichte, zur Wahl der Schlauchform auch an solchen Stellen der Küste, wo eine natürliche Spülung sich nicht beschaffen ließ. Die Verbesserung der Baggermaschinen, vor allem die Verwendung von Dampfbaggern, befreit neuerdings einigermaßen von dem Zwange, aus Rücksicht auf die Erhaltung der Einfahrtstiefe eine Hafenform vorzuziehen, welche in jeder anderen Beziehung der Bassinform nachsteht.

Wenn es möglich ist, wie im vorigen Capitel angedeutet wurde, durch anderweite Anordnung der Spülungen deren Wirkung in erheblichem Maße zu verstärken, so wird daher außerdem anzustreben sein, diese verstärkte Spülung gerade bei Bassinhäfen in Anwendung zu bringen, um beiden Grundbedingungen, Sicherung der Einfahrtstiefe und Sicherung vor Wind und Wellen, in gleichem Maße zu genügen.

§. 29. Form und Richtung der Hafeneinfahrten mit Rücksicht auf das Einlaufen der Schiffe. — Schlauchhäfen.

Die drei Haupterfordernisse eines guten Aufsenhafens, Schutz gegen Wellenschlag, Sicherung des Einlaufs, Führung des Spülstroms, sind natürlich nicht allein auf die Wahl der Grundform von wesentlichem Einfluß, sondern ebenso wichtig auch für die specielle Anordnung, besonders der Hafeneinfahrt. Sobald das Vorwiegen des Bestrebens, die Einfahrtstiefe zu sichern, zur Wahl einer schlauchartigen Form geführt hat, zur Anlage eines Hafens mit annähernd parallelen Molen, wird durch die Berücksichtigung der beiden andern Bedingungen die Grundrissgestaltung des Schlauchs, vor allem die Lage seiner Mündung gegen die herrschenden Winde, die stärksten Stürme und Strömungen vorwiegend beeinflusst.

Was speciell die Anforderung anbelangt, daß das Einlaufen der Schiffe, sowie ihr Auslauf jederzeit leicht und sicher stattfinden müssen, so ist die Rücksichtnahme auf den Einlauf weit wichtiger als die auf das Ausgehen. Letzteres steht mehr im Belieben der Schiffer als der Einlauf, für den, besonders in Häfen, welche eine ungünstige Rhede und nur kurze Hochwasserdauer haben, die Zeit, während deren er einzig stattfinden kann, oft höchst kurz und beschränkt ist. Manche Häfen, Noth-, Schutz- oder Zufluchthäfen genannt, müssen jederzeit zugänglich sein und gerade bei den stärksten Stürmen sicheren Einlauf ermöglichen, während größere Handelshäfen meistens geschützte Rheden haben oder doch solche Ankerplätze, welche den Schiffen gestatten, die hohe See zu gewinnen, bevor ein Sturm kommt, der ihnen die Nähe der Küste gefährlich machen könnte. Die meisten Vorhäfen und Hafeneinfahrten im Tidegebiet weisen bei Niedrigwasser solch kleine Tiefen auf, daß sie als Zufluchthäfen doch nicht dienen können, so daß auf ihre Zugänglichkeit zur Zeit der stärksten Stürme geringere Rücksicht zu nehmen ist. Hierher sind fast alle wichtigen Handelshäfen der Flachküsten zu rechnen, deren Lage sich durch commercielle Gesichtspunkte bestimmt, und die oft schon existenzfähig sind, wenn ihr Vorhafen auch nur während weniger Stunden täglich angelaufen werden kann.

Es ist alsdann die Rücksichtnahme auf die herrschenden Winde, deren Richtung meist mit jener der stärksten Stürme keineswegs zusammenfällt, um so mehr maßgebend. Wün-

schenswerth erscheint, daß der Wind, welcher die Schiffe vor den Hafen bringt, sie auch in den Aufsenhafen zu bringen vermag. Da nun aber gutgebaute Segler noch recht wohl unter 6 Strich, also 60 bis 70° am Wind segeln können, so dürfte, streng genommen, die Richtung, in welcher der Einlauf erfolgen muß, der Windrichtung entgegen nicht innerhalb des durch 2 mal 6 Strich bestimmten Winkels liegen. Von dem Vollkreis gingen fast 2 Quadranten verloren. Wenn die herrschende Windrichtung z. B. die westsüdwestliche ist, so würde die Windrose zwischen N. N. W. und S. z. O. unbenutzbar sein.

Die Axe der Einfahrt in die herrschende Windrichtung so zu legen, daß die Schiffe vor dem Wind einsegeln, empfiehlt sich andererseits aus mehrfachen schwerwiegenden Gründen ebenfalls nicht. Der einzige Vortheil, den man damit erreicht, der bequeme Einlauf, darf überdies durchaus nicht überschätzt werden. Erstens können die guten Segelschiffe weit am Winde fahren, und wenn das Fahrwasser breit genug ist, durch Laviren den Einlauf bewirken, — zweitens, sollte die Hafeneinfahrt hierfür zu eng sein, wie bei Schlauchhäfen meistens der Fall, so kann dem Schiffe von den Molen aus geholfen werden, indem es dicht an den unterm Wind liegenden Molenkopf herans segelt, dort beidreht und durch Trossen in den Hafen sich selbst verholt, — drittens hat die Einführung der Dampfschiffahrt die Rücksichten, welche für die Segelfahrzeuge immerhin noch von Bedeutung waren, fast ganz bedeutungslos gemacht, mindestens für große und mittelgroße Häfen, in welchen stets mehrere Remorqueure bereit sind, die ankommenden Schiffe einzuschleppen, soweit dieselben nicht aus eigener Kraft den Einlauf rasch und sicher bewirken können. Hierzu kommt, daß die Zahl der Dampfschiffe derjenigen der Segelfahrzeuge, wenigstens für lange Fahrt, immer näher rückt, und daß der regelmäßige Dienst zwischen bestimmten Orten, für welchen der ungehinderte Einlauf am wichtigsten ist, fast ausschließlich durch Dampfer besorgt wird.

Die schwerwiegenden Gründe, welche direct gegen die Anordnung des Mündungsschlauches in Richtung der herrschenden Winde sprechen, sind hauptsächlich folgende: 1) Die einsegelnden Schiffe kommen mit zu großer Geschwindigkeit in den Vorhafen, wenn man dem Aufsenhafen nicht übermäßige Länge giebt. 2) Die Aussegelung wird erschwert, bei stärkeren Winden sogar unmöglich gemacht. 3) Der Wellenschlag tritt mit voller Kraft in den Vorhafen. 4) Der Austritt des Spülstroms wird behindert, was seine Schwächung und Wirkungslosigkeit zur Folge hat.

Man hat zwar mehrfach künstliche Mittel in Anwendung gebracht, die Geschwindigkeit der einlaufenden Fahrzeuge zu vermindern, quergespannte Ketten, gegen welche dieselben anprallen oder an denen sie sich durch Anker festhalten, Auswerfen von Ankern in die Sohle der Einfahrt u. s. w. Aber da die Lage der Mündung in Richtung der herrschenden Winde nur von secundärem Vortheil ist, die Nachteile, welche eine derartige Disposition mit sich bringt, dagegen primär beachtet werden müssen, so sieht man besser davon ab, wie dies auch bei der größten Zahl der wirklichen Ausführungen thatsächlich geschehen ist.

Zuweilen haben die im Uebrigen parallelen Molen an der Mündung eine trichterartige Erweiterung erhalten, um die Einsegelung zu erleichtern. Daß dies für die Spülkraft

des ausgehenden Stromes ebenso nachtheilig ist, wie für die Abstillung des Seegangs, braucht nicht näher erörtert zu werden.

Eine der beiden Molen länger zu machen als die andere, erscheint in den meisten Fällen von zweifelhaftem Werth; doch sprechen hierbei die localen Verhältnisse das wichtigste Wort. Verlängert man die nach Richtung der stärksten Stürme gelegene Mole, so müssen die einlaufenden Schiffe gerade in der gefährlichsten Zeit und am gefährlichsten Orte ihren Curs ändern, wodurch bei ungeschicktem Manövriren leicht Collisionen an dem kürzeren Hafendamm herbeigeführt werden. Macht man dagegen, wie z. B. in Cherbourg am Handelshafen geschehen, die sturmseitige Mole kürzer, so liegt die Gefahr nahe, daß die Fahrzeuge gegen den längeren Hafendamm getrieben werden. In Boulogne (alter Hafen) ist die nach der herrschenden Windrichtung zu liegende Mole kürzer als die gegenüberliegende. Die in demselben Sinne wirkende Strömung und der in den Hafen gehende Widerstrom, welcher an der längeren Mole sich bildet, erleichtert den Schiffen ihren Einlauf. In Calais, wo bei ähnlichen Verhältnissen die Hafendämme gleiche Länge haben, fahren öfters die Schiffe gegen die vom Winde abliegende Mole. Für die strahlartige Zusammenfassung des Spülstroms ist eine ungleiche Länge der Molen stets nachtheilig.

Die Einwirkung der Strömungen darf keineswegs außer Acht gelassen werden, besonders wenn sehr lange, tiefgehende Schiffe, die nur zur Zeit des höchsten Wasserstandes einlaufen können, im Hafen verkehren. Die Fluthströmung, welche um diese Zeit im offenen Meere am stärksten ist, tritt in Folge localer Verhältnisse zuweilen (z. B. la verhaule bei Le Havre) auch vor der Hafeneinfahrt während des Hochwasserstandes heftig auf. Wenn dieselbe einen rechten oder einen hiervon nicht viel abweichenden Winkel mit dem Einfahrtsschlauch einschließt, so wird das Schiff, sobald sein Vordertheil durch die Molen geschützt, das Hinterschiff aber noch der Strömung ausgesetzt ist, gedreht und kann eventuell sogar zum Scheitern in der Mündung kommen, besonders in einem schmalen Schlauch (Colbergermünde). Von diesem Gesichtspunkte aus erscheint es wünschenswerth, die Richtung der Einfahrt nicht gerade senkrecht zur Richtung des Küstenstromes, bezw. der Tideströmungen zu machen. Diese Rücksicht fällt hauptsächlich dann ins Gewicht, wenn der Aufsenhafen nur kurz ist, so daß die einlaufenden Schiffe schon vor Erreichung der Mündung ihre Geschwindigkeit erheblich mäßigen müssen (Wilhelmshaven).

§. 30. Form und Richtung der Hafeneinfahrten mit Rücksicht auf das Einlaufen der Schiffe. — Bassinhäfen.

Die Bestimmung einer richtigen Lage der Hafeneinfahrt ist bei Bassinhäfen weit weniger an jene engen Grenzen gebunden. Nur ausnahmsweise haben künstliche Bassinhäfen zwei Einfahrten erhalten (z. B. Cette, Boulogne), da man mit Recht die hierdurch veranlaßte Unruhe im Bassin und die stärkere Versandung desselben befürchtet. Der Einlauf ist ohnehin in verschiedenen Richtungen möglich, wenn die Molen nur dicht hinter der Mündung rasch genug sich erweitern und die Mündung breit genug gemacht wird, um das Einlaufen schräg zur Hafeneinfahrt zu gestatten.

Oefters bilden daher die Molen beiderseits der Einfahrt eine gerade Linie. Bei Boulogne (neuer Hafen) wird zu diesem Zweck der Wellenbrecher mit dem Seeende der Süd-mole gleich gerichtet angelegt. In Stolpmünde ist wenigstens nach Westen zu freier Einlauf möglich, da das Seeende der Westmole senkrecht zur Richtung der Ostmole geneigt ist. Für Scheveningen hat Oberingenieur Dirks vorgeschlagen, den eigentlichen Hafendamm parallel zur Küste anzuordnen und die Mündung in seine Mitte zu legen. Der Verfasser des letztgenannten Projectes giebt übrigens selbst zu, daß man hierdurch vor dem ganzen Damm und speciell vor der Mündung kabbelige See erzeugt, da alle Wellen, welche nicht senkrecht zur Küste gehen, reflectirt werden und bei der Interferenz mit den nachfolgenden Wellen zur Umwandlung des Wasserspiegels in ein weites Feld scharf eingeschnittener rhombischer Mulden und hochaufspritzender Wellenspitzen Anlaß geben müssen. Wiewohl Dirks diesem Umstand keine große Bedeutung beilegen zu sollen glaubt, wurde doch von anderen holländischen Ingenieuren, besonders von Oberingenieur Waldorp, schon aus diesem Grunde sein Vorschlag für unannehmbar erklärt. Auch würde bei der Ausführung jenes Projectes die Möglichkeit nicht ausgeschlossen sein, daß beim Beginne der Vorwanderung der Küstensände die beiderseits der Mündung sich ausbildenden Bänke eine ähnliche Wirkung hervorbrächten, als convergiren die Seeenden der Molen gegen einander concav zur See, was wiederum zur Folge hätte, daß gerade in der Einfahrtsrinne die Wellenspitzen noch höher sich aufthürmen und die See noch unruhiger machen müßten, besonders wenn der Seegang senkrecht zum Hafensmunde gerichtet ist, ähnlich wie in einem parabolischen Brennpiegel die parallel zur Axe einfallenden Strahlen nach dem Brennpunkte geworfen werden.

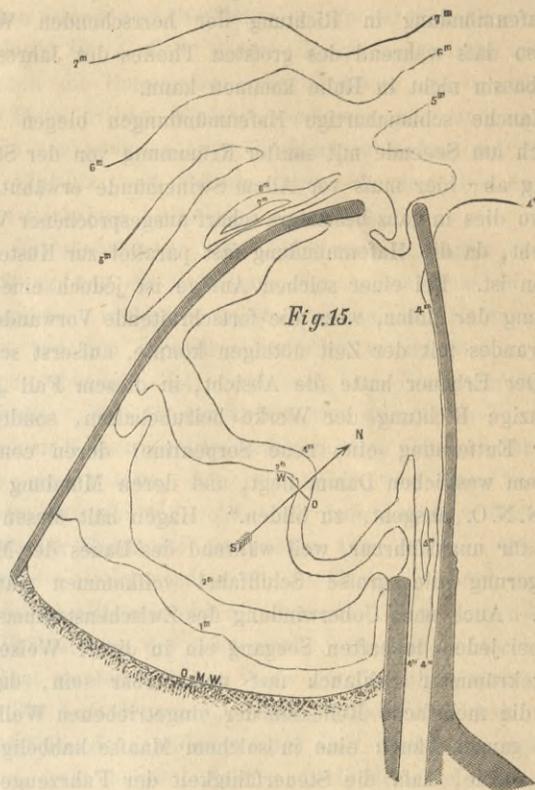
Wenn also einerseits erhebliche Gründe dagegen sprechen, die Seeenden in eine gerade Linie zu legen, so ist auch andererseits aus den früher angeführten Gründen für Dampfschiffe und für Segler, welche durch Remorqueure eingeschleppt werden, kurz für den modernen Schiffahrtsbetrieb die allzu ängstliche Rücksichtnahme auf Ermöglichung des Einlaufs aus den verschiedensten Richtungen weniger erforderlich. Zudem wird in den meisten Fällen es kaum möglich sein, wenn man nicht übermäßige Kosten aufwenden will, das ganze Bassin tief genug für das Manövriren der Schiffe an allen Stellen zu halten, wie die Beispiele von Ramsgate und Ymuiden beweisen. Von diesem Gesichtspunkte aus würde es also gestattet sein, die Neigung der Molenenden sehr spitz zu machen, vielleicht sogar bis unter 90° herunterzugehen.

Wenn sich ein Mittel finden ließe, den Wellenschlag dicht hinter der Mündung abzustellen, so daß die im Folgenden zu erörternden Anforderungen für die Erhaltung der Ruhe befriedigt werden könnten, so wäre eine derartige spitze Neigung der den Außenhafen begrenzenden Molen unbedenklich.

§. 31. Form und Richtung der Hafensmündungen mit Rücksicht auf die Beruhigung des Seegangs.

Schon im Früheren wurde angeführt, daß die Rücksichtnahme auf Beruhigung des Seegangs stets gegen die Anordnung der Hafensmündung in Richtung der herrschenden Winde spricht. Bei der Neuanlage des Hafens Rügenwal-

dermünde (Fig. 15) war ursprünglich gerade dieser Umstand besonders betont und als vorzugsweise maßgebend angesehen worden. Die Küste streicht dort annähernd von W. S. W. nach O. N. O.; die herrschenden Winde kommen von der Westseite, zwischen den Herbst- und Frühjahrs-Aequinoctien mehr aus der südlichen, im Sommer und Frühherbst mehr aus der nördlichen Hälfte derselben; die herrschenden Stürme



kommen von N. O. Man hatte anfangs die Absicht, die Hafensmündung in den Kreisabschnitt zwischen N. N. W. und N. N. O. zu legen, etwa nach N. z. W. oder Nord. Jedoch befürchtete man andererseits, der Spülstrom, welcher längs der Ostmole ausgeht, möchte durch den Westmolenkopf irritirt, geschwächt und abgelenkt werden, so daß eine Schwenkung der Mündungsaxe bis nach N. W. vorgezogen wurde. Man verhehlte sich hierbei nicht, daß sowohl die Anseglung als das Auslaufen der Schiffe durch diese Aenderung erschwert würden, sowie daß der Seegang bei W. N. W. - und N. W. - Winden, also bei den vorherrschenden Seewinden, erheblich kräftiger in den Hafen gelangen muß. Dagegen wurde geltend gemacht, daß die nordwestliche, mit Rücksicht auf die herrschenden Stürme, der nördlichen Lage vorzuziehen sei, weil dieselben den gefährlichsten Seegang meist aus jener Richtung herbeiführen, in welcher das Meer seine größte Ausdehnung hat, in diesem Fall aus N. z. O.

Hierbei ist zu beachten, wie der specielle Zweck des Außenhafens¹⁾ auf die Wahl der Richtung von Einfluß sein muß. Soll der Außenhafen den einlaufenden Schiffen nur Raum zur Ausführung ihrer Manöver in geschütztem Wasser geben, so ist der Schutz gegen den schwächeren, aber häufig eintretenden Seegang, welchen die herrschenden Winde veranlassen, wichtiger als der Schutz gegen den starken Seegang der seltener eintretenden Stürme aus der Sturm-

1) Vgl. hierüber auch §. 29.

seite. Sollen dagegen im Außenhafen direct Ladeoperationen vorgenommen werden, wie dies für Boulogne beabsichtigt wird, so überwiegt das Princip, selbst auf Kosten dauernder Unruhe, sehr kräftige momentane Bewegungen fern zu halten. Man wird natürlich im ersten Falle genöthigt sein, die weiter zurück liegenden inneren Hafentheile durch besondere secundäre Molen zu schützen, entweder so wie in Marseille ¹⁾ oder so wie in Ymuiden geschehen ist, wo ebenfalls die Hafenmündung in Richtung der herrschenden Winde liegt, so daß während des größten Theiles des Jahres das Außenbassin nicht in Ruhe kommen kann.

Manche schlauchartige Hafenmündungen biegen ihren Schlauch am Seeende mit sanfter Krümmung von der Sturmrichtung ab; hier muß vor Allem Swinemünde erwähnt werden, wo dies in ganz besonders scharf ausgesprochener Weise geschieht, da die Hafenmündung fast parallel zur Küste umgebogen ist. Bei einer solchen Anlage ist jedoch eine Verlängerung der Molen, wozu die fortschreitende Vorwanderung des Strandes mit der Zeit nöthigen könnte, äußerst schwierig. Der Erbauer hatte die Absicht, in diesem Fall „nicht die jetzige Richtung der Werke beizubehalten, sondern in einiger Entfernung eine neue Serpentine, deren concaver Theil am westlichen Damm liegt, und deren Mündung mehr nach N. N. O. ausgeht, zu bilden.“ Hagen hält diesen Vorschlag für unausführbar, weil während des Baues der Molenverlängerung die große Schifffahrt vollkommen pausiren müßte. Auch nach Ueberwindung des Zwischenstadiums wird aber bei jedem lebhaften Seegang ein in dieser Weise doppelt gekrümmter Schlauch fast unpassirbar sein, da sich durch die mehrfache Reflexion der eingetriebenen Wellen in seiner ganzen Länge eine in solchem Maasse kabbelige See bilden würde, daß die Steuerfähigkeit der Fahrzeuge sehr beeinträchtigt wäre. Uebrigens müßten die Krümmungsradien sehr groß sein, wenn, auch bei günstiger See, die langen Eisenschiffe einlaufen sollten.

Die sehr bedeutende Länge der transatlantischen Dampfer kann überhaupt die Anlage scharf gekrümmter Schläuche verbieten, falls denselben nicht übermäßige Breiten gegeben werden. In Saint-Nazaire sah man sich genöthigt, die Molen umzubauen, weil fortwährend Beschädigungen der Transatlantics und der Molen selbst vorkamen. Die westliche Mole wurde geradlinig verlängert, so daß die Dampfer sich an dieselbe anlehnen und um sie herum schwenken können, zu welchem Zweck die Ostmole, welche früher parallel mit der anderen nach Westen gekrümmt war, theilweise abgebrochen und senkrecht zum Schleusenaupt verlängert werden mußte.

Die Anforderungen für die Richtung der Hafenmündungen, welche von den verschiedenen Gesichtspunkten aus erhoben werden, widersprechen sich theilweise derart, daß es wohl niemals möglich sein wird, allen zu genügen. Ganz besonders ist dies bei schlauchartigen Häfen der Fall, während die Bassinform größere Freiheit läßt ein Compromißproject auszuarbeiten, welches mindestens die wichtigen Bedingungen sämmtlich erfüllt. Im Früheren wurde bereits hierauf hingewiesen. In noch höherem Grade ist es der Fall im Bezug auf den Schutz gegen Wellenschlag, da die Grundform der Anlage, mag auch die Mündung ungünstig

liegen, schon an und für sich eine Mäßigung des Seegangs bedingt, um so mehr, je größer das Verhältniß zwischen Bassin- und Mündungsbreite ist. Die Höhe der Wellen nimmt genau in derselben Weise ab, als die Wellenbreite zunimmt. Stevenson ¹⁾ hat hierüber folgende empirische Regel aufgestellt $\frac{q'}{q} = \sqrt{\frac{b}{B}} - \frac{1}{50} \left(1 + \sqrt{\frac{b}{B}}\right) \sqrt[4]{D}$, worin q' und q die Radien der Bahnen, welche die in der Oberfläche befindlichen Wassertheilchen durchlaufen, b die Breite der Mündung, B die Länge des Wellenscheitels im Hafen, und zwar in der Entfernung D von der Mitte der Mündung. (Alle Maasse sind bei Anwendung der Formel in englischen Fussen einzusetzen).

In mehreren Häfen, besonders am Canal, hat man bei schlauchartigen Mündungen die besprochenen Vortheile der Bassinform dadurch herbeizuführen gesucht, daß an geeigneten Stellen die Hafeneinfassung aus einem Pfahlwerk gebildet wird, durch dessen freie Oeffnungen die Wellen in Seitenbassins treten können, deren Boden rückwärts mit sehr flacher Böschung bis über Wasser steigt. ²⁾ „Die einlaufende Welle trifft dieses durchsichtige Pfahlwerk (à claire-voie), und an jedem einzelnen Pfahle findet sie einen gewissen Widerstand, der eine kleine rücklaufende Welle erzeugt. Außerdem tritt eine starke Welle in das Bassin ein und verfolgt dasselbe bis an sein Ende. Auf dem ansteigenden Grunde schwächt sie sich aufs Neue; doch bildet sie gleichfalls eine rücklaufende Welle, die ihren Weg bis in den Hafen fortsetzt. Die verschiedenen Verluste der lebendigen Kraft, sowie auch die rücklaufenden Wellen, die ganz zufällig die folgenden treffen, schwächen sie ohne Zweifel; und gewiß geschieht dieses am vollständigsten, wenn das durchsichtige Pfahlwerk an der concaven Seite einer starken Krümmung angebracht ist.“ Jedoch ist diese sinnreiche Anordnung immerhin nur ein schwaches Aushilfsmittel in solchen Häfen, in welchen ohne dieselbe der Wellenschlag unerträglich stark sein würde.

Ein schlauchartiger Hafen könnte nur dann ruhiges Wasser zwischen seinen parallelen Molen haben, wenn außerhalb in deren ganzer Länge Bassins angebracht wären, in welche die Wellen durch die offene Construction der Molen eintreten könnten. Eine derartige Anlage ist noch nirgends zur Ausführung gekommen, weil der Bau solcher Bassins in freiem Meer enorme Kosten verursachen müßte; sie wird auch nur dann möglich sein, wenn diese seitlichen Bassins gleichzeitig noch anderen wichtigen Zwecken dienen.

Daß schon allein die offene Construction der Molen (massiv bis Niedrigwasser, Pfahlwerk darüber) in wirksamer Weise den Seegang schwächt, ist zwar mehrfach practisch erprobt; doch reicht diese Schwächung, z. B. im jetzigen Hafen von Boulogne, keineswegs aus, so daß am inneren Ende des Außenhafens die oben beschriebenen kleinen Seitenbassins (brise-lames) angebracht werden mußten.

Die Bassinform ist so vorwiegend geeignet für die Beruhigung starken Seeganges, daß man sogar vor den Aestuarien mehrerer kleinerer Tideströme Molen, welche ein Bassin vor der Mündung der Flüsse einschließen, angelegt hat, während bekanntlich der ungehinderte Zutritt des Fluthwassers

1) Cialdi, Il porto di Genova. Il Politecnico 1878.

1) The Edinbourg new phil. journal Vol. LIV. p. 378.

2) Hagen, Seebau II. p. 255.

sonst allgemein als erforderlich und wünschenswerth angesehen wird. Die bezeichneten Molen haben am Lande ihren größten Abstand; nach der See zu convergiren sie. Die Breite, welche ihre Seeenden zwischen sich für die Einfahrt frei lassen, muß mindestens gleich der Breite des Tidestromes sein. Liffey, Dee, Tyne und Tees sind in dieser Weise gegen das Meer abgeschlossen. Bei alleiniger Rücksichtnahme auf die Erhaltung der Tiefe würde man wohl eine derartige Anordnung nicht wählen, da unter allen Umständen die Spülwirkung beeinträchtigt wird, sobald man die ungestörte Füllung des Stromes mit Fluthwasser beeinträchtigt. Weder die Bildung der Seebarre, noch die der inneren Bänke wird verhindert; im Gegentheil erfolgen die Eintreibungen von Meeressand sowohl, als die Ablagerungen von Sinkstoffen und Geschieben, welche das Oberwasser mit sich führt, in größerem Maaße als früher.

Dagegen gestattet der Abschluß eines künstlichen Bassins durch Molen, in relativ ruhigem Wasser einzulaufen und mit gewöhnlichen Dampfbaggern zu arbeiten. Am Tyne hat man außerdem Baggerungen im Strome selbst bis oberhalb Newcastle in größtem Maaße vorgenommen, um die Fluthcapacität desselben zu steigern. Da nun aber die Ausdehnung und das Fortschreiten der äußeren Bänke, die sich innerhalb der Molen bilden werden, in innigem Zusammenhang mit Lage und Größe der inneren Bänke steht, so wird durch die Beseitigung der letzteren, mittels Baggerung indirect ein sehr günstiger Einfluß auf die Seebarre ausgeübt. Die alljährlich wegzubaggernden Massen sind bei dieser Anlage jedoch so enorm, daß nur ein außerordentlich starker Verkehr die theuere Unterhaltung rechtfertigen kann. Im Laufe der letzten 20 Jahre wurden ca. 3 Mill. cbm per Jahr ausgebaggert, von welcher Quantität ein großer Theil aus frisch zugeführten Materialien bestand, deren Beseitigung in bestimmten Perioden immer wieder von Neuem erfolgen muß. Die überaus günstigen Resultate, welche man in sehr kurzer Zeit daselbst erreicht hat, wo die Seebarre fast verschwunden zu sein scheint, sind übrigens nicht allein der Energie, mit welcher die Molenbauten, die Baggerungen im Bassin, sowie die Regulierungs- und Vertiefungsarbeiten im Strome vorgenommen wurden, zu verdanken, sondern auch großentheils dem Umstande, daß die Küstenströmung nur geringe Sandmassen zuführt.

Die beschriebene indirecte Einwirkung der im Inneren des Fluthreservoirs vorgenommenen Baggerungen auf die Seebarre wird auch bei künstlichen Bassinhäfen, wiewohl in weit geringerem Maaße, sich zeigen, da die Wassermenge des aus denselben austretenden Ebbestroms relativ klein ist.

6. Capitel. Schlußergebnisse.

§. 32. Recapitulation der Anforderungen.

Die Anlage eines Seehafens an flacher Sandküste bedingt eine Unterbrechung der regelmäßigen Küstenentwicklung, eine Uferlücke, zu deren Erhaltung ein Spülstrom erforderlich ist, sowie Molenbauten, welche diese Uferlücke vor sofortiger Versandung schützen und sicheren Einlauf in ruhiges Wasser ermöglichen.

Winde, Wellen und Strömungen, vorzugsweise die von den Winden und der Flutherscheinung verursachten Strömungen, sowie die Bewegungen der längs der Küste wandernden Sände sind die von der Natur gegebenen Bedingungen, deren

sachgemäße Benutzung und Bekämpfung es möglich macht, die 3 Hauptfordernisse einer Hafenanlage, Erhaltung der Einfahrtstiefe, Sicherung des Einlaufs, Schutz gegen Seegang, ausreichend und dauernd zu erfüllen.

Im 1. Cap. wurde betrachtet, in welcher Weise jene Naturkräfte auf die Gestaltung der freien Küste einwirken; im 2. und 3. Cap. wurde untersucht, welche Abweichungen durch künstliche und natürliche Unterbrechungen, Einbaue in den Strand und Uferlücken mit Spülströmen, hervorgerufen werden. Im 4. Cap. wurden die Anforderungen entwickelt, welchen die Hafenanlage mit Rücksicht auf die Erhaltung der Tiefe in der Einfahrt genügen muß; und im 5. Cap. wurde nachgewiesen, wie die Rücksichtnahme auf Sicherung des Einlaufs und Schutz gegen Seegang die Anordnung eines Seehafens beeinflusst.

Bei sämtlichen, zur Erörterung gelangten Fragen ist durchweg nur die Gestaltung des Außenhafens in Betracht gekommen, weil die Anlage des inneren Hafens vorzugsweise von den speciellen Bedürfnissen und localen Verhältnissen abhängig ist, während die Beantwortung jener Vorfrage: „Wie ist der Außenhafen anzuordnen?“ nach allgemeinen Gesichtspunkten erfolgen kann. Hiermit soll keineswegs gesagt sein, daß es möglich wäre, ein bestimmtes Schema aufzustellen, welches für jede beliebige Hafenanlage an flacher Sandküste anwendbar sein würde. Wohl aber gelten die Gesichtspunkte, die im Vorhergehenden als maßgebend bezeichnet wurden, allgemein. Ihre Anwendung auf die Verhältnisse der Küstenstelle, an welcher der Seehafen angelegt werden soll, ist Sache der Detailprojecte.

Die Anforderungen, welche früher entwickelt und begründet wurden, widersprechen sich theilweise; und schon hieraus geht hervor, daß je nach dem Ueberwiegen der einen oder der anderen bei verschiedenen natürlichen Bedingungen die Anlage verschieden gestaltet sein muß. Diese Anforderungen beziehen sich auf die Anordnung der Molen, besonders auf deren Trace und Abstand, sowie auf die Anlage der Spülung.

Künstliche Spülung ist für Häfen an flacher Sandküste fast immer erforderlich, da früher nachgewiesen wurde, daß nur in außergewöhnlichen Fällen durch locale Erosionsströmungen, welche mit bedeutenden Geschwindigkeiten an den Hafemündungen vorbeiströmen (Boulogne, Nieuwe-Diep,) die Bildung der Barre verhindert wird.

Durch den Abstand der Molen, je nachdem derselbe constant oder variabel ist, wird die Grundform des Hafens bedingt, ob Schlauchform oder Bassinhafen.

Die Trace der Molen ist in Bezug auf Wind, Wellen, Wandersände und Strömungen von höchster Wichtigkeit, besonders in der Nähe der Hafemündung.

Im Nachfolgenden sind daher zu betrachten:

- 1) die Bedingungen für die Wahl der Hafenform,
- 2) die Bedingungen für die Orientirung und Breite der Hafemündung,
- 3) die Bedingungen für die Trace der Molen,
- 4) die Bedingungen für die Anlage der Spülung.

- 1) Bedingungen für die Wahl der Hafenform.

Die beiden Grundformen der Außenhäfen sind: die Bassinform und die Schlauchform. Die rasche Erweiterung der Hafebreite unmittelbar hinter der Einfahrt, welche den

Bassinhäfen eigenthümlich ist, vermindert die Kraft des Seegangs und bietet den einlaufenden Schiffen sehr großen Spielraum, so daß dieselben ihre Manöver sicher und in relativ ruhigem Wasser ausführen können. Dagegen ist für die übliche Anordnung der Spülungsvorrichtungen die Schlauchform vorzuziehen, weil zwischen den parallelen Molen der Spülstrom besser zusammengehalten wird und sein Austritt aus der Mündung, besonders wenn man die Hafendämme dort etwas convergent macht, strahlartig erfolgt. Die Vorzüge der Bassinhäfen in Bezug auf Schutz gegen den Seegang lassen sich bei Schlauchhäfen theilweise dadurch erreichen, daß man einen Theil der Molen offen baut und Seitenbassins anlegt, in welchen die Wellen sich todlaufen.

2) Bedingungen für die Orientirung und Breite der Hafenumündung.

Die Rücksichtnahme auf die Möglichkeit, Schiffe aus verschiedenen Richtungen einlaufen zu lassen, macht möglichst große, die Rücksichtnahme auf Beruhigung des Seegangs dagegen macht möglichst kleine Breite erwünscht. Die Zusammenhaltung des Spülstroms verlangt gleichfalls eine nicht zu bedeutende Breite, bei Schlauchhäfen eine allmähliche Verengung des Schlauchs nach der Mündung zu.

Im Hinblick auf die Möglichkeit, aus verschiedenen Richtungen einlaufen zu können, ist die Orientirung der Hafenumündung bei Bassinhäfen an weniger enge Grenzen gebunden. Wenn die Richtung der herrschenden Winde von derjenigen der stärksten Stürme stark abweicht, so ist für die Orientirung der Schutzhafen-Mündungen die letztere, für die Mündungen von Handelshäfen die erstere maßgebend. Es soll die Richtung der Einfahrt zwar nicht mit der herrschenden Windrichtung zusammenfallen, jedoch auch nicht allzuweit von derselben abweichen, damit der Einlauf mindestens unter 60° am Wind erfolgen kann. Hierbei ist anzustreben, daß die Einfahrtsrichtung nicht gerade senkrecht zur Strömungsrichtung liegt, um das Abtreiben und die Drehung der einlaufenden Fahrzeuge zu vermeiden.

Die Wirksamkeit des Spülstroms ist um so bedeutender, je mehr die Richtung, mit welcher derselbe austritt, mit der Richtung zusammenfällt, in welcher die Küstensände wandern, d. h. mit der Richtung der vorherrschenden Küstenströmung. In noch höherem Grade ist dies der Fall, wenn die Richtung des Spülstroms so nahe als möglich mit der des vorherrschenden Wellenschlags zusammenfällt.

Mit Rücksicht auf den Schutz gegen Seegang ist es erwünscht, daß durch die Orientirung der Hafenumündung die von den häufigsten Winden erzeugte Dünung vom Aufsenhafen abgehalten wird. Wenn derselbe gleichzeitig als Vorhafen dient, so ist er gegen die Sturmwellen zu schützen.

3) Bedingungen für die Trace der Molen.

Bei Schlauchhäfen kann die Rücksicht auf die Orientirung der Mündung dazu führen, beide, einander parallele, Molen curvenförmig auszubiegen. Um die unvermeidliche Vorwanderung des Küstensaumes in möglichst engen Grenzen zu halten, ist es erwünscht, die beiden parallelen Molen convex zur See zu krümmen, so zwar, daß die Hafenumündung von der Richtung, aus welcher die Wandersände kommen, abgeneigt ist. Für den Einlauf langer Schiffe ist die gekrümmte Form der Hafendämme nur dann unschädlich,

wenn die Breite des Schlauchs genügend und der Radius nicht zu klein ist.

Für den Austritt des Spülstroms ist die Krümmung, mindestens einer der beiden Molen, an deren concave Seite er angepreßt wird, besonders dann zu empfehlen, wenn der Abstand der Hafendämme sehr groß ist, also vorzugsweise bei Bassinhäfen. Es erscheint bei dieser Hafenform wünschenswerth, die Symmetrie aufser Acht zu lassen und das Bassin dadurch herzustellen, daß diejenige Mole, welche nach der Richtung zu, aus der die Wandersände kommen, gelegen ist, declinant gegen deren Richtung und convex gegen das Meer gekrümmt, mit ihrem Seeende aber nahezu parallel dem Ufer geführt wird, während die andere Mole annähernd senkrecht zur Küste auf kürzestem Wege die Mündung erreicht.

Gerade Linien von großer Länge sind um so mehr zu vermeiden, je näher sie der Einfahrt liegen, hauptsächlich wenn sie schräg zur Richtung des vorherrschenden Seeganges gelegen sind, weil die kabbelige See, welche durch die Reflexion der Wellen entsteht, die Sicherheit des Einlaufens in hohem Grade gefährdet.

4) Bedingungen für die Anlage der Spülung.

Die übliche Anlage der Spülbassins im inneren Hafen und ihre gleichzeitige Benutzung für andere Zwecke behindert die Spülung selbst in hohem Grade, 1) weil man genöthigt wird, um diese Nebenzwecke und die Ruhe der im Vorhafen liegenden Schiffe nicht zu sehr zu beeinträchtigen, die Spülströme nur in langen Zwischenräumen austreten zu lassen, und 2) weil andererseits der größte Theil ihrer Spülkraft nicht an der richtigen Stelle zur Wirkung kommt und, da dies nicht geschieht, künstlich vernichtet werden muß.

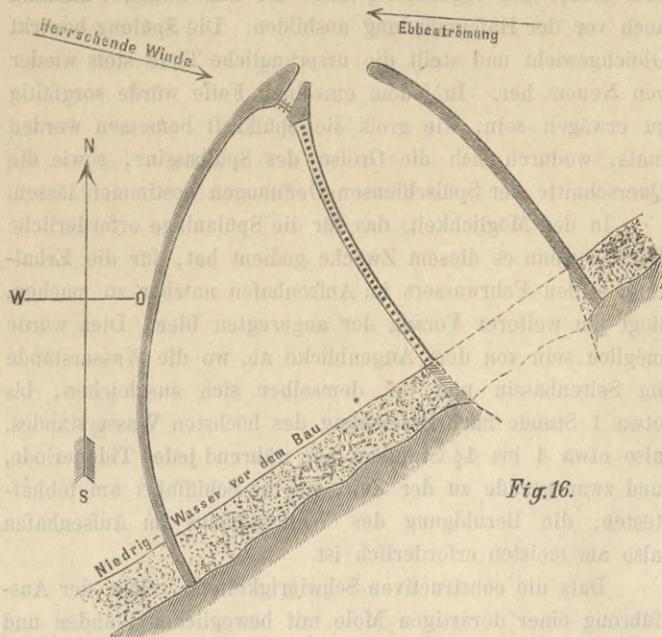
Um die erosive Wirkung auf die Barre erheblich zu vergrößern, ist die Spülschleuse in die Nähe der Hafenumündung zu legen; um unabhängig von der Benutzung des inneren Hafens zu bleiben, ist das Spülbassin aufserhalb des Vorhafens anzuordnen. Man kann alsdann jede Tide zur Spülung benutzen und die Dauer jeder einzelnen Spülung bis über den Moment des Kenterns der Tideströmungen, der für den Schlickfall am gefährlichsten ist, hinaus ausdehnen.

§. 33. Ideen über die Anlage eines Hafens an flacher Sandküste im Fluthgebiet.

Da die Rücksicht auf bequeme Einsegelung für große Häfen mit Remorqueurdienst erst in zweiter Linie beachtet zu werden braucht, sind in erster Linie ins Auge zu fassen die Mittel zum Schutz gegen den Seegang, die Spülanlage, ferner die Vorkehrungen gegen die allzu weite Vorwanderung des Küstensaumes.

Die durch letztere Bedingung geforderte declinante, nach dem Meere zu convexe Gestalt des Hafendammes, welcher die Wandersände aufhält, weist auf die Anlage eines Bassinhafens hin (Fig. 16). Die Anforderung, das Spülbassin aufserhalb des Vorhafens und die Spülschleuse neben der Hafenumündung anzulegen, läßt es wünschenswerth erscheinen, einen Theil dieses bassinartigen Aufsenhafens als Spülbassin auszunutzen, etwa durch Anlage einer dritten inneren Mole, welche, senkrecht vom Ufer ausgehend, mit sanfter

Krümmung nach dem Molenkopfe des declinanten Hafendammes zu führt, dicht vor demselben endet und zwischen ihrem eigenen Ende und jenem Molenkopfe Platz für die Spülschleuse läßt.



Der eigentliche Außenhafen würde hierdurch auf den Raum zwischen der zweiten Außenmole, die gleichfalls senkrecht vom Ufer ausgeht und mit sanfter Krümmung nach der Hafenumündung leitet, und der Innenmole beschränkt sein, folglich annähernd eine Schlauchform erhalten.

Um der ersten Hauptbedingung genügen zu können, müßte sich ein Mittel finden lassen, das Spülbassin gleichzeitig als Seitenbassin für die Abschwächung des Wellenschlags zu verwerthen. Eine solche Verwerthung würde jedoch verlangen, daß die Innenmole, mindestens über Niedrigwasser, offen gebaut wäre. Da nun aber die Benutzung des Bassins zur Aufbewahrung des Fluthwassers nur während des größeren Theils der Ebbe und weiter bis nach dem Kentern der Ebbe- in Fluthströmung eine geschlossene Mole erfordert, und da andernteils gerade während der Schifffahrtsperiode, also zur Zeit des Hochwassers die Rücksicht auf Schutz gegen den Seegang die Mole offen verlangt, so läßt sich wohl der scheinbare Widerspruch in der Weise beseitigen, daß man die Innenmole offen construirt, aber die Zwischenräume mit beweglichen schützartigen Vorrichtungen (etwa mit Klappthoren, welche durch hydraulische Kraft bewegt werden, wie in Honfleur) verschließt, sobald bei Ebbe rasches Sinken des Wasserstandes erfolgt, um sie wieder zu öffnen, wenn die Wasserstände, ungefähr bei halber Fluth, im Bassin und außerhalb desselben sich ausgeglichen haben.

Die in den inneren Hafen eintretenden Wassermengen würden in dem schlauchförmigen eigentlichen Außenhafen bei Ebbe einen, wenn auch schwachen Spülstrom hervorrufen, den man eventuell aus kleineren Spülbassins, die neben dem Vorhafen anzulegen wären, oder durch echelonartige secundäre Spülströme aus dem Seitenbassin verstärken könnte, falls man es nicht vorzieht, die Reinhaltung dieses geschützt liegenden Hafentheiles mit Baggerung zu bewirken.

Wird von der Möglichkeit abgesehen, aus sehr verschiedenen Richtungen in den Bachthafen einzulaufen und dessen ganze Fläche für Evolutionen zu benutzen, welche Möglichkeit bei den meisten künstlichen Bassinhäfen thatsächlich nicht vorhanden ist, so vereinigt die vorgeschlagene Anordnung die wesentlichsten Vorzüge der beiden Grundformen, wie sie ja auch äußerlich als eine Combination derselben sich darstellt. Vor den seitherigen Anlagen aber hat sie außerdem noch den großen Vorzug voraus, daß sie die Kraft eines starken Spülstroms vollständig, mit möglichst langer Dauer und an der richtigen Stelle auszubeuten gestattet.

Die declinante, gegen die See convexe Gestalt der in Fig. 16 südwestlichen Mole bewirkt, daß die gegen dieselbe anstoßenden Wasserfäden der westlichen, sandführenden Küstenströmung nur wenig abgelenkt werden und am Seeende parallel an die nicht abgelenkten Wasserfäden der Strömung sich anschließen. Weil nun der Wellenschlag, sobald er mit steiler Neigung gegen die mit Sand beladenen, von der Mole her kommenden Wassermassen stößt, sofort einen Niederschlag veranlaßt, so wird die Barre, deren Ausbildung unter keinen Umständen vermieden werden kann, sich dicht vor der Hafenumündung ausbilden; und die Stelle, wo die erosive Wirkung der Spülung am meisten erforderlich wird, fällt mit derjenigen zusammen, wo sie am größten ist.

Das durch die innere Mole abgetrennte Seitenbassin, an seinem seawärts gelegenen Ende mit einer Spülschleuse versehen, müßte während der Schifffahrtsperiode, bis etwa 1 Stunde nach H. W. offen bleiben. Alsdann wären die Lücken der Molenconstruction zu schließen, um das nur wenig vom Hochwasserstand abweichende Niveau zu halten. Sobald vor den Molen nahezu der niedrigste Wasserstand eingetreten ist, müßte die Spülschleuse allmählig geöffnet werden. Wenn dies in der Weise geschieht, daß die Ausflußöffnungen annähernd den Quadratwurzeln aus den Druckhöhen umgekehrt proportional sind, was sich etwa durch langsamen Aufzug verticaler Schützen bewirken ließe, so würde, da in der ersten Stunde das Steigen der Fluth nur sehr langsam vor sich geht, während dieser Periode die ausfließende Wassermasse per Zeiteinheit constant sein, ihre Geschwindigkeit jedoch allmählig abnehmen. Sobald das Außenwasser merklich steigt, während das Niveau im Spülbassin immer mehr sinkt, werden Ausflußmenge und Geschwindigkeit nach und nach kleiner. Die Querschnitte der Schleusenöffnungen kann man in jener ersten Periode so bemessen, daß die mittlere Geschwindigkeit anfangs 4 m, gegen Ende etwa 3 m per Secunde beträgt. Es gleichen sich alsdann beide Wasserstände, außerhalb des Bassins und innerhalb desselben, erst kurz vor Mittelwasser aus, und der Spülstrom behält während längerer Zeit bedeutende Kraft.

Da aber der Augenblick des Kenterns in der Nähe des Landes jedenfalls zwischen den Zeiten des Niedrigwassers und des Mittelwassers der Fluth erfolgt, an der flandrischen Küste z. B. 2 Stunden nach erstgenanntem Zeitpunkt, und da andererseits zur Zeit des Mittelwassers die vom Meere ankommende Fluthströmung schon eine merkliche Stärke besitzt, so muß zunächst eine stetige Bewegung der beim Beginne der Spülung in Suspension gerathenen Sandtheilchen stattfinden. Wenn z. B. (Fig. 16) die Ebbeströmung von der östlichen Seite kommt, der Spülstrom aber mit nahezu nörd-

licher Richtung austritt, so wird die losgespülte Sandmasse in Richtung der resultirenden Bewegung anfangs nach N. geführt, weiter in See aber immer mehr nach N. W. abgelenkt. Zur Ablagerung kann sie jedoch nicht gelangen, weil die Einwirkung des Spülstroms bis über den Zeitpunkt hinaus andauert, von welchem an die in Fluthströmung umgesetzte Tidesströmung Stärke genug hat, sie wieder nach Nordosten, der Küste entlang, zurückzuführen. Dieser durch die Fluthströmung in erster Linie veranlaßte, durch die herrschenden Winde eventuell lebhaft beförderte Transport währt, ohne daß vor dem Hafen Ablagerungen stattfinden könnten, so lange, wie diese Strömung intensiv genug ist, etwa bis zur Zeit des Kenterns der Fluth- in Ebbeströmung, an der flandrischen Küste also bis ca. 3 Stunden nach Hochwasser. Nunmehr erst kann der Sandfall beginnen; derselbe ist um so stärker, je seichter der Meeresgrund und je weniger bewegt das Wasser ist.

Einestheils hierdurch, andertheils durch die größeren Sandkörner, welche von der Strömung am oberen Theile der Uferböschung sprungweise fortgeführt werden und gleichfalls zur Ruhe kommen, sobald dieselbe aufhört, erhöht sich die Barre vor der Mündung. Diese größeren Sandkörner werden, wenn der Spülstrom beginnt, gleichfalls in Bewegung gesetzt und so lange bergab gerollt, als die Geschwindigkeit der Strömung sie zu transportiren vermag. Nach den früheren Ausführungen bleibt bis zum Beginne der Fluthströmung dem Spülstrom genügende Geschwindigkeit, um sie nicht zur Ruhe kommen zu lassen, mindestens doch den größten Theil in Wanderung zu halten. Auch dieser Theil des Barrenmaterials wird daher einen ähnlichen Weg zurücklegen, wiewohl in engeren Grenzen und langsamer, als die schlickartigen feinen Sandtheilchen.

Der senkrecht zur Küste gerichtete Wellenschlag muß zwar die in Wanderung befindlichen Geschiebe und Sinkstoffe um so mehr beeinflussen, je stärker er ist. Da jedoch die ausgehende Strömung große Kraft besitzt, kann der beschriebene Vorgang wesentliche Abweichungen durch den Wellenschlag nicht erleiden, besonders wenn der vorherrschende Seegang nicht senkrecht zum Ufer stattfindet, sondern schräg gerichtet von derselben Seite her, von welcher die Fluthströmung kommt, wie dies z. B. an der flandrischen Küste der Fall ist, da die parallel zu derselben ausgedehnten Bänke ähnlich wie Wellenbrecher wirken.

Ein sehr wesentlicher Vortheil der vorgeschlagenen Spülmethode, welche natürlich jede Tide ausnutzt, besteht darin, daß zwischen dem Augenblicke, wo die Sinkstoffe auf der Barre sich ablagern, und demjenigen, wo der Spülstrom sie wieder aufreißt, nur wenige Stunden vergehen, daß die Niederschläge keine Zeit finden sich festzulagern, und daß infolge dessen relativ geringe Geschwindigkeiten zu ihrer Erosion genügen. Diese Spülmethode verzögert die Periode des Niederschlags der suspendirten Körper, welche sonst im Beginne der Fluth stattfinden würde, bis zur Mitte der Ebbe. Das Endresultat der vereinigten Wirkung von Tidesströmungen, Wind, Wellenschlag und Spülstrom muß daher sein, daß in den letzten Stunden der Ebbe vor der Hafens-

mündung eine Barre sich bildet, welche sofort nach ihrer Bildung wieder zerstört wird. Die Barre ist gewissermaßen eine Etappe auf dem Marsche, welchen die Wandersände längs der Küste ausführen.

Ohne Eingriff des Spülstroms würde der Strand langsam, aber sicher sich regelmäßig längs der Südwestmole, allmählig auch vor der Hafensmündung ausbilden. Die Spülung bewirkt Gleichgewicht und stellt die ursprüngliche Tiefe stets wieder von Neuem her. In jedem einzelnen Falle würde sorgfältig zu erwägen sein, wie groß die Spülkraft bemessen werden muß, wodurch sich die Größe des Spülbassins, sowie die Querschnitte der Spülschleusen-Oeffnungen bestimmen lassen.

In der Möglichkeit, das für die Spülanlage erforderliche Bassin, wenn es diesem Zwecke gedient hat, für die Erhaltung stillen Fahrwassers im Aufsenhafen nutzbar zu machen, liegt ein weiterer Vorzug der angeregten Idee. Dies würde möglich sein von dem Augenblicke ab, wo die Wasserstände im Seitenbassin und vor demselben sich ausgleichen, bis etwa 1 Stunde nach Erreichung des höchsten Wasserstandes, also etwa 4 bis 4½ Stunden lang während jeder Tideperiode, und zwar gerade zu der Zeit, wo die Schifffahrt am lebhaftesten, die Beruhigung des Wellenschlags im Aufsenhafen also am meisten erforderlich ist.

Daß die constructiven Schwierigkeiten, welche der Ausführung einer derartigen Mole mit beweglichen Wänden und der in Vorschlag gebrachten Anordnung einer Spülschleuse in der Nähe der Hafensmündung sich entgegenstellen, keineswegs unüberwindlich sind, beweisen z. B. die unter ähnlichen Verhältnissen angelegten Verschlussvorrichtungen der Einlaßöffnung des Spülbassins zu Honfleur und die Spülschleusen-Anlage desselben Bassins. Auch gewährt dort die Einführung hydraulischen Betriebs die Möglichkeit, die während längerer Zeit angesammelte Kraft einer relativ schwachen Maschine zu einer momentanen, ungemein hohen Arbeitsleistung zu verwenden.

Zweifelsohne würden sich die Anlagekosten eines nach dem skizzirten Systeme ausgeführten Hafens sehr hoch belaufen. Jedoch kann die zur Zeit allgemein übliche Methode der künstlichen Spülung den angestrebten Zweck, die ursprüngliche Tiefe stets wiederherzustellen, keinenfalls erfüllen. Ob dies durch Baggerungen auf der Barre erreichbar ist, dürfte zu bezweifeln sein. Jedenfalls würde hierdurch die Schifffahrt in hohem Grade belästigt; und die Betriebskosten müßten übermäßig hoch ausfallen.

Die beispielsweise angedeuteten Ideen sollen zeigen, wie man die früher entwickelten theoretischen Grundsätze allenfalls für den Entwurf einer Neuanlage verwerthen könnte. Die Grundsätze selbst wurden aus dem Studium hydrographischer Untersuchungen und ausgeführter Anlagen, sowie aus den Gutachten bewährter Fachmänner in objectiver Betrachtung ermittelt. Sind die Schlußfolgerungen richtig gezogen, so wäre die Hoffnung nicht aufzugeben, daß, auch unter den ungünstigsten Umständen, die Anlage von Seehäfen an flachen Sandküsten der Tidemeere und die Erhaltung ihrer Einfahrtstiefen durch künstliche Spülungen möglich ist.



WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA



L. inw.

18321

Druk. U. J. Zam. 356. 10.000.

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000300968