

Die Sandbänke an der Küste der Deutschen Bucht*) der Nordsee

Von Dr. HARM POPPEN, Jena.

Mit dem Ausdruck: „Deutsche Bucht der Nordsee“ bezeichnet man nach der Segelanweisung¹⁾ denjenigen Teil der Nordsee, welcher im Süden und Osten den Kontinent, im Westen den Meridian von Texel und im Norden den Breitengrad von Horns Riff als Grenze hat. Die äußeren Grenzen liegen also außerhalb des deutschen Gebietes. Ihre Küste ist dort, wo deutsche Landgebiete in die Fluten der Nordsee eintauchen; diese wird kartographisch durch eine Linie bezeichnet, die sich aus dem Mittel des Niedrigwassers zur Zeit der Springfluten ergibt. Sie erstreckt sich von der Insel Röm bis zur Ems in einer Länge von etwa 150 sm²⁾. Im weiteren Sinne wird die Küste durch eine Linie gebildet, die alle Punkte des deutschen Festlandes verbindet, welche zu gleicher Zeit von den Nordseefluten bespült werden. Da diese Grenzlinie aber keine konstante Lage hat, sondern mit der Ebbe ab-, mit der Flut aufwärts wandert, so bildet eine Küste keine Linie, sondern eine Zone³⁾, deren untere Grenze von der Grenzlinie des niedrigsten Wasserstandes begrenzt wird, und deren obere noch etwas höher liegt, als das höchste Hochwasser reicht, da die Tätigkeit der Wellen über dieselbe hinaus sich erstreckt. Die Zone ist an Steilküsten außerordentlich schmal, an Flachküsten aber wie der deutschen Nordseeküste nimmt sie eine erhebliche Breite an, da sie auch die Außergroden und ausgedehnten Wattengebiete, jenes amphibische Gebilde zwischen Land und Meer, mit umfaßt.

Die an die Deutsche Bucht angrenzenden Küstengebiete zeigen eine sehr starke Küstenentwicklung. Die Mündungstrichter der Ems, Weser, Elbe und Eider sind ganz bedeutend; tief ins Land einschneidende Buchten: Dollart, Jade, die von Meldorf, Tönning und Husum mit den sie begrenzenden Halbinseln Dieksand, Wesselburener Koog und Eiderstedt erhöhen die Küstengliederung erheblich; die der Küste in einer Entfernung von 2 bis 15 sm girlandenartig vorgelagerten zahlreichen ost- und nordfriesischen Inseln, von denen Borkum und Röm die Eckpfeiler bilden, vervollständigen das Bild der Zerrissenheit. Eine besondere Stellung nimmt unter ihnen das aus Buntsandstein bestehende Felseneiland Helgoland ein; denn es ist aus den Küsteninselreihen herausgerückt, so daß es seiner Entfernung nach, die von der Halbinsel Eiderstedt 48 km⁴⁾, von Cuxhaven 60 km beträgt, eine ozeanische Insel zu sein scheint, dennoch aber eine reine Küsteninsel ist. In seinem tektonischen und geologischen Aufbau hat es zwar mit einigen der nordfriesischen Eilande genetische Berührungspunkte, unterscheidet sich jedoch gänzlich von den andern, vor allem von den Ostfriesischen Inseln, die Schwemminseln sind. Es ist ein Zeuge der gewaltigen tektonischen Veränderungen und Schicksale, denen das Nordseegebiet in den Zeitläuften unterworfen war.

Die heutige Nordsee, die nach Brown⁵⁾ eine überaus bewegte Vergangenheit hat, soll

¹⁾ Segelhandbuch der Nordsee, herausgegeben vom Reichs-Marine-Amt, Berlin 1906, Teil I, Heft 3, S. 31.

²⁾ Ebenda S. 79.

³⁾ Vgl. Grosse, Die Entwicklung des Küstenbegriffs, Diss. Leipzig 1904.

⁴⁾ R. Haage, Die Deutsche Nordseeküste, Diss. Leipzig 1899, S. 10.

⁵⁾ A. J. Jukes Browne, Contemporary Review, 1893. (Vgl. „Globus“ 1894, Bd. 65, S. 198 u. 199.)

*) Auszugsweiser Nachdruck aus „Annalen der Hydrographie“, 1912, H. VI.

auf Grund der Forschungen dieses Geographen im Frühalluvium entstanden sein. Von einschneidendster Bedeutung für das Nordseegebiet war die Bildung des Englischen Kanals, die sich nach *Walther*⁶⁾ in der Zeit vom 4. bis 6. Jahrtausend v. Chr., nach *Browne* an der Schwelle der historischen Zeit vollzogen hat. –

Die Nordsee hatte schon von alters her, wie uns die alten Historiographen: *Pytheas*¹⁾ aus Massilia (4. J.), *Ephoros*²⁾ (um 350 v. Chr.), *Aristoteles*³⁾ (Lehrer Alexanders d. Gr., geb. 384), *Kleitarchos*⁴⁾ (derselben Zeit angehörig), *Hekataios*⁵⁾ (zu derselben Zeit), *Philemon*⁵⁾ (ein zur selben Zeit lebender Dichter), *Plinius*⁶⁾ († 79 n. Chr.), *Tacitus*⁷⁾ († vor 120 n. Chr.), *Caesar*⁸⁾ († 44) u. a. berichten, einen höchst unruhigen und unberechenbaren Charakter, der ihr die heute im Volksmunde übliche Bezeichnung „Mordsee“ eingetragen hat: wir hören von den Verheerungen, die sie anrichtete, von der Zerklüftung der Küstengelände, die in dem Worte „aestuarium“, einer alten Prägung, ihren Ausdruck findet, von dem hartnäckigen Kampf, den der Anwohner mit ihr führte, – alles Züge, die uns ganz und gar neuzeitlich anmuten.

Es kann nun zwar nicht unsere Aufgabe sein, alles Material der späteren Geographen und Historiker auch nur summarisch an dieser Stelle niederzulegen, indes glauben wir einen Punkt nicht übergehen zu dürfen: den erfreulichen Ausbau der *Kartographie*⁹⁾, die sich auch auf das Nordseegebiet erstreckte, wohin die aufblühende Kultur, der aufblühende Handel mehr und mehr ihre Wellen schlugen. Während im Mittelalter der mönchische, im 14. und 15. Jahrhundert der italienische und im 16. Jahrhundert der portugiesische und spanische Einfluß der Kartographie den Stempel aufdrückte, übernahmen erst von der Mitte des 15. Jahrhunderts ab die Niederdeutschen die Leitung, besonders die Holländer. Geradezu epochemachend waren die in fünf Sprachen erschienenen Werke des Holländers *Lucas Janß Waghenaer* aus Enkhuizen: „Spiegel der Zeevaart 1584 bis 1615“ und „Tresor der Zee-Vaert 1592 bis 1609“, so daß alle Werke des 17. Jahrhunderts unmittelbar auf seinen Schultern standen und ein Seeatlas lange Zeit kurz die Bezeichnung „*Waghenaer*“ führte. Von den deutschen Küstenstädten der Nordsee brachten besonders Hamburg und Bremen wegen ihres ausgedehnten Handels den seemännischen Wissenschaften ein großes Interesse entgegen. Technisch gebildetem Personal, dem in Bremen ein Barsemeister vorstand, war die sorgfältige Bearbeitung dieser Materie in die Hände gelegt. Die Seewarte wurde ins Leben gerufen. Die Kapitäne der Kriegs- und Handelsmarine unterbreiten der Behörde ihre Beobachtungen. Alle diese Ergebnisse finden ihren Niederschlag in den von der Reichsmarine herausgegebenen Segelhandbüchern und Seekarten. Die Kartographie erfreut sich erst besonderen Aufschwungs und absoluter Zuverlässigkeit, seitdem die deutsche Admiralität sich ihrer angenommen hat.

Die Karten sind von den Anfängen an fast ohne Ausnahme in Schwarzdruck gehalten. Die Sandbänke sucht man durch Tiefenlinien, Isobathen, in Höhenabständen von etlichen

⁶⁾ *P. Walther*, Land und See. Vgl. *Gebauer-Sch.* Halle 1907.

¹⁾ Seine Tagebücher sind verloren gegangen; Fragmente sind uns erhalten in *Plinius II* und bei *Strabo* (68 v. bis 24 n. Chr.) in seinen 17 Büchern „*Γεωγραφικά*“.

²⁾ *Strabo* VII, 2. *Ephoros*. F. H. G.

³⁾ *Ethica ad Eudem.* III, 6.

⁴⁾ *Strabo* VII, 2.

⁵⁾ *Plinius* IV.

⁶⁾ *Historia naturalis*.

⁷⁾ *Annales*.

⁸⁾ *Bellum Gallicum*.

⁹⁾ Vgl. *Behrmann*, „Niederdeutsche Seebücher usw.“ im Jahrbuch für die Geschichte des Großherzogtums Oldenburg, 1909.

Metern von der Umgebung abzuheben. Auf den neuesten Karten zeichnet man die Watten in den der Wirklichkeit entlehnten grauen Tönen, während man von da ab von Isobathe zu Isobathe in immer heller werdenden Schattierungen zur weiß gehaltenen See übergeht. Außerdem sind überall die Tiefen in Metern angegeben. Die Seekarten sind jedoch nur Augenblicksbilder; denn da der Bodenbelag einer ständigen Umlagerung unterworfen ist, so ist das natürliche Bild nicht selten schon ein anderes, ehe die gefundenen Meßwerte auf die Karte übertragen worden sind, eine Erscheinung, der die Seekarten mit einer Bemerkung Rechnung tragen, die dem Seemann wegen der dauernd und oft in beträchtlichem Maße sich zeigenden Veränderungen größte Vorsicht anempfiehlt. –

Definition

Die Durchmusterung der Fachliteratur zeigt nun, daß die dort auf die Sandbänke Bezug habenden Fachausdrücke auf unsere Verhältnisse keine Anwendung finden können, da den Verfassern durchweg Großformen vorschwebten, während wir es an unserer Küste mit Kleinformen zu tun haben. So lesen wir bei Supan¹⁾, daß die Kuppen bis zu –200 m, die Bänke von –200 bis –11 m sich erheben; Erhebungen, die höchstens –11 m Tiefe haben und deshalb der Schifffahrt gefährlich sind, nenne man Riffe oder Gründe. Wagner²⁾ bezeichnet „die sich dem Meeresspiegel nähernden Einzelerhebungen als Kuppen und Bänke, und, wenn sie der Schifffahrt gefährlich werden können (d. h. sich bis –11 m erheben), spricht man von Riffen, Gründen“. Supan³⁾ ergänzt bei dem Kapitel der Sedimentablagerungen obige Definition dahin, daß „manche Sandbänke oder Barren dauernd über dem Meeresspiegel emporsteigen, manche nur zur Ebbezeit, manche – und diese sind die gefährlichsten – verbergen sich stets unter dem Meeresspiegel“. Andere klassifizieren die Bänke wieder dahin, daß sie die nur bei Hochwasser mit Wasser bedeckten Erhebungen Sandbänke nennen, während sie die, die ständig von seichtem Wasser überflutet sind, mit dem Namen Untiefen belegen, Begriffe, die sich nicht mit der seemannisch angewandten Terminologie decken, wie die Seekarten⁴⁾ und Segelhandbücher⁵⁾ dartun. Diese bezeichnen die ans Festland und an die Inseln sich direkt anschließenden und bei normalen Flutverhältnissen nur bei Hochwasser bedeckten Schwemmlandgebilde, auf denen der Schlick haften bleibt, der ihnen eine schmutzgraue Färbung gibt, als Watten, während die meist isoliert auftretenden und oft blendend weiß zu uns herüberschimmernden Sandanhäufungen die Namen Riff, Plate, Grund, Sand, Untiefe, Bank führen, Benennungen, die begrifflich gleichwertig sind, gleichviel, ob sie ständig oder nur bei Hochwasser mit Wasser bedeckt sind. Erreichen sie Watthöhe, was jedoch bei den isolierten Bänken äußerst selten der Fall zu sein pflegt, so spricht man sie gewöhnlich als Watten an, womit man jedoch den Begriff eines größeren Umfangs verbindet. Die Anwendung des Ausdrucks „Riff“ zeigt, daß nicht immer das, was unsere Seeleute Riffgrund nennen, felsiger Boden ist, sondern öfter meinen sie damit nur einen sehr festen Ton, der am Handlot, mit dem sie sich durch Nacht und Nebel tasten, nicht recht haftet, wie beispielsweise der Borkumriffgrund vor der Emsmündung⁶⁾. Jedoch trifft auch dies

1) A. Supan, Grundzüge der physischen Erdkunde, 1911, S. 266.

2) H. Wagner, Lehrbuch der Geographie, 1908, S. 492.

3) A. Supan, Grundzüge der phys. Erdk., 1911, S. 271.

4) Admiralitätskarten.

5) Segelhandbuch der Nordsee, herausgegeben vom Reichs-Marine-Amt.

6) O. Krümmel, Ozeanographie I, 1907, S. 165.

nicht immer zu. – Halten wir für unsere Untersuchung fest, daß wir unter der Bezeichnung Sandbank eine Meeresbodenerhebung aus Sand verstehen, die, gleichviel, welchen Namen ihr die seemännische Terminologie beilegt, mehr oder weniger bis an die Oberfläche des Meeres emporsteigt. –

Beschreibung und Nomenklatur

In bezug auf ihre Lage kann man See- und Flußsandbänke⁷⁾ unterscheiden, von denen wir erstere vor und in dem äußersten Teil der Mündungstrichter und vor der Küste antreffen, letztere weiter flußaufwärts. Die Bänke in den Flußmündungen haben vielfach eine isolierte Lage zwischen den Fahrwassern; doch findet man sie auch wohl den Wattgebieten angegliedert wie beispielsweise die Mellum Plate mit dem Roten Grund. Die Gestadebänke sind dem Lande vorgelagert und stehen fast immer mit ihm im Zusammenhang; als Typen dieser Gattung können sie den Gestadeinseln angegliedert betrachtet werden. Bei den Flußsandbänken unterscheidet man auch wieder isolierte, die meistens mitten im Fahrwasser sich behaupten, und angegliederte Bänke, die gewöhnlich einem knieartigen Vorsprung des Ufers angeschlossen sind wie z. B. der Möwen Steert und die Hubert Plate in der Ems. Charakteristischerweise beobachten wir die Sandablagerungen und Verschlickungen vorwiegend am östlichen Ufer (siehe Ems, Weser und Elbe). – Manche Bänke behaupten nun eine durchaus konstante Lage wie der Geldsack und das Borkum Riff in der Ems und die Jade Plate in der Jade, andere sind in bezug auf ihren Standort stetem Wechsel unterworfen wie der Minsener Sand und der Rote Sand in der Jade; man nennt sie deshalb Wandersände, während wir jene als konstante Bänke bezeichnen können. Auch gewahrt man bisweilen plötzlich auftauchende Sände, denen jedoch gewöhnlich nur ein kurzes Dasein beschieden ist. Bilden die Bänke einen zusammenhängenden Komplex zwischen beiden Ufern, so redet man von Barrén, einer Flutbarre in der oberen Flutzone und einer Ebbebarre im unteren Flußgebiet.

Schon bei oberflächlicher Betrachtung der Seekarte gewahrt das Auge das fast allen Bänken eigene Charakteristikum einer länglichen Gestalt (vgl. Fig. 1), was besonders von den Flußsänden gilt. Die Böschungen ihrer Seiten sind vielfach steil; nach den Enden hin ist der Abfall ein allmählicher, nach der See zu in den meisten Fällen jedoch flacher als am andern Ende, wobei dieses dann auch die größte Höhe hat. Die hakenförmigen Gebilde ähneln sozusagen submarinen Nehrungen, bei deren Bildung man vielfach die Beobachtung machen kann, daß sie infolge Anhäufung von Sedimenten im Stromschatten eines Ufervorsprungs an eine im Fahrwasser bereits vorhandene Bank anwachsen und diese dadurch „wattfest“ machen. Wesentlich unruhigere Formen haben die Bänke, die gleichsam als Vorposten im äußeren Mündungsmund der Flüsse weit vorgeschoben sind. Sie haben im Gegensatz zu jenen nicht selten seitliche Vorsprünge und auf ihren Rücken unregelmäßig auftretende Erhöhungen, ebenso seitliche Einschnürungen; ferner nehmen sie manchmal eine sichelförmige Gestalt an. Auch kommt es vor, daß zwei Bänke sich zu einem einheitlichen Komplex aneinandergliedern. Der rechtsseitige Abfall – auf die Richtung der Flußströmung bezogen – ist in den weitaus meisten Fällen steiler als der linksseitige. Eine auffallend gesonderte Gestalt haben die den ostfriesischen Inseln vorgelagerten Gestadebänke, die sich zu deren Füßen girlandenartig hinwinden. Sie zeigen, als Einheit betrachtet, auffallende

⁷⁾ Für uns kommen nur die in Betracht, die sich im äußeren Teil des Unterlaufs befinden.

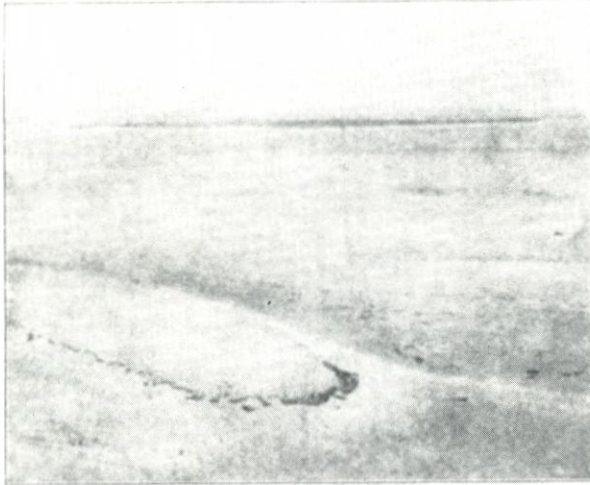


Fig. 1.

Anmerkung: Die vom Herrn Marine-Oberbaurat Krüger in Wilhelmshaven zur Verfügung gestellte Aufnahme obigen kleinen Strandwalles, der den Typ einer Sandbank gut wiedergibt, ist von der Spitze der Mellumbake aus nach Osten hin gemacht. Das Dunkle im Hintergrunde ist das Grünland von Mellum mit dem Sandstreifen an der Westseite; die Mellum Plate liegt 4 km weiter nördlich. Die letzte Flut hat den Strandwall nicht ganz bedeckt, was man an dem geschwärzten Randstreifen sieht, den man deshalb Flutmarke nennt. Diese besteht aus bloß- und angespülten Brocken von Torf, Darg, Holz, Klei usw., die sich in den Hauptbestandteilen deutlich abheben. Die Farbe des Walles ist mattgrau, ein Zeichen dafür, daß er auch Schlickmassen beherbergt.

Ähnlichkeit mit einem ausgewellten Kuchenrand, wobei die hervortretenden Auswölbungen die Barren der Gaten sind. Völlig inkonstant in Lage und Form sind die Bänke vor den nordfriesischen Inseln. Die Längsachse der Bänke hat mehr oder weniger die Richtung der sie bestreichenden Strömungen, eine Beobachtung, die bezüglich der vor den Seegaten lagernden Bänke wegen der hier herrschenden komplizierten Strömungsverhältnisse seltener zutrifft.

Entstehung

Bezüglich der geologischen Untersuchung der Sandbänke ist bis in unsere Tage hinein geradezu gar nichts unternommen worden. Erst in allerneuester Zeit hat die Kaiserliche Werft solche Untersuchungen für das Jadegebiet unter Leitung des Marine-Oberbaurats Krüger ausführen lassen, und zwar seit dem Jahre 1907¹⁾. Die geologische Bearbeitung ist Rektor Schütte aus Oldenburg übertragen worden.

Auf Grund dieser Untersuchungen bestehen die Bänke zum weitaus größten Teil aus

¹⁾ Die Bearbeitungen der Jahre 1907/08 sind seiner Zeit den einzelnen Universitäten als Konvolut zugesandt worden: 1. Vorwort von Möller und Krüger, 2. Allgemeiner Bericht über die Bodenuntersuchung von Schütte, 3. die Diatomeen in den Küstenablagerungen von Chr. Brockmann, 4. die subfossilen Hölzer der Baggerproben von Herm. Brakenhoff.

größerem und feinerem Sand analog unseren Inseldünen, ferner aus Brockenmaterial und Schlick, jedoch in geringeren Quantitäten. Generelles läßt sich indes nicht aufstellen; denn die einzelnen Sandbänke sind wegen ihrer Lage in gar zu verschiedenem Maße den um- und aufbauenden Naturkräften ausgesetzt. Es ist deshalb ein Unterschied zu machen sowohl zwischen den Bänken, die starker Wellenbewegung unterworfen sind, und denen, die in ruhigerem Wasser liegen, also zwischen See- und Flußsandbänken, als auch den konstanten und wandernden Platen. Die konstanten Bänke zeigen meistens schon in relativ geringer Tiefe feste, altgelagerte Bodenschichten, so z. B. die Jade Plate und die Genius Bank in 12 bis 17 bzw. 9 bis 12 m unter Kartennull meist alten See- und Brackwasserton, darunter oft Süßwasserton, Schilf- und Waldtorf, also submarine Moore; daneben wird draußen bei etwa 18 m, drinnen in der Jade bei 12 bis 15 m Tiefe Diluvialton, Geschiebe usw. angetroffen. Über diesen Schichten ruhen leicht bewegliche Massen, die ständig der Umlagerung unterworfen sind.

Die wandernden Platen aber, wie die H-Plate, der Minsener Sand, der Rote Grund, der Rote Sand und andere bestehen bis zu der ganz beträchtlichen Tiefe von 19 bis 20 m naturgemäß aus gemengtem Material, in der Hauptsache aus Feinsand mit Muschel- und Torfgrus, aber auch aus Kies, Rollstücken von Torf und Holz, Muscheln, Schneckenschalen und dergleichen mehr.

Diese knappen Mitteilungen tun dar, daß die beweglichen Massen, auf die wir unser Hauptaugenmerk richten, bei beiden Arten von Bänken, bei den konstanten sowohl, als auch bei den Wanderbänken, mehr oder weniger aus denselben Substanzen zusammengesetzt sind, vornehmlich aus Sand neben Brocken verschiedenster Art. Das gilt jedoch nur von den Seesandbänken. Die Flußbänke, die im großen und ganzen außerhalb des Bereichs starker Wellenbewegung liegen, gleich den Watten und ruhigeren Meeresbuchten wie der Jade, beherbergen einen nicht unbeträchtlichen Prozentsatz von Schlick, wie schon aus einem Vergleich der zur Ebbezeit aus dem Wasser herauslugenden Rücken hervorgeht, die bei den Flußbänken eine mattgrauere Färbung zeigen, während die ausgewaschenen Sände der von den Sonnenstrahlen beschienenen und ausgetrockneten Seesandbänke schon aus weiter Ferne zu uns herüberleuchten. –

Wenden wir also den Hauptbestandteilen, dem Sand und dem Schlick, unser Augenmerk zu und suchen die Frage nach den Quellen des Material zu erörtern.

Woher stammt also der Schlick? Durch mikroskopische und chemische Untersuchungen ist festgestellt worden, daß der Schlick zum Teil aus terrigenen oder kontinentalen, zum Teil aus organischen Bestandteilen besteht. Ferner ergaben sie, daß das Maximum des Schlickabsatzes, der zugleich den größten Prozentsatz an organischen Beimengstoffen aufweist, im Brackwassergebiet der Flüsse erreicht wird, während er nach der See zu langsam abnimmt, wovon jedoch die ruhigeren Meeresgebiete, die Watten hinter den Inseln und die Buchten, wo auch der Organismengehalt wieder etwas stärker auftritt, eine Ausnahme machen. Es ergibt sich daraus also, daß der Niederschlag der anorganischen und organischen Bestandteile in der Hauptsache an die Vereinigung von Salz- und Süßwasser gebunden ist. Wie mag sich dieser Vorgang abspielen?

Für die Anschwemmung der anorganischen Senkstoffe kommt zunächst das Flußwasser in Frage. Es schwemmt, wie Untersuchungen beweisen, eine Menge von Stoffen aus den Diluvial- und Alluvialschichten des Norddeutschen Flachlandes und der Mittelgebirgszone stromabwärts. Das ist Geröll in den verschiedenen Größen und Schlamm, also sandig-lehmiger Natur. Auf Grund zahlreicher Analysen sind im Mittel in den meisten Flüssen in 1 cbm Wasser 180 bis 200 g chemisch gelöste Substanzen, unter denen wir besonders die Humussäure hervorheben wollen, und an Schlamm in den Flüssen Mitteleuropas in der

Tiefebene bis 100 g enthalten; außerdem werden Sand und Kies mitgeführt, weniger gröberes Geröll¹⁾.

Umstritten ist die Frage, ob auch die Nordsee erhebliche Mengen zu dem Schlick beiträgt und woher sie stammen. Prestel²⁾ geht zwar entschieden zu weit, wenn er behauptet, daß das Material der deutschen Marschen von den schottischen und englischen Felsenküsten, die unaufhörlich von der Brandungswelle benagt werden, stamme; allein diese Behauptung ist nicht zu wiederlegen mit dem an und für sich sehr richtigen Hinweis darauf (vgl. Haage³⁾ und Fr. Wahnschaffe⁴⁾), daß die Trübung des Wassers der Nordsee erst im Wattenmeere beginnt, während draußen auf der See die Meeresfluten die schönste Klarheit aufweisen. (Haage). Diese Beobachtung ist gewiß völlig einwandfrei; denn vermöge der merkwürdigen Eigenschaft des Meerwassers, die allen Elektrolyten innewohnt, werden die Beimengungen in kürzester Zeit ausgeschieden und auf dem Nordseeegrunde niedergeschlagen. Hiernach müßte nun in jenen Meeresgebieten der Bodenbelag größtenteils aus Schlamm bestehen, da an den dortigen Küsten durch Zertrümmerung des leichtlöslichen Kalk- und Kreidesteins ein feiner, leicht transportabler Detritus unzweifelhaft aufbereitet wird. Da aber der Meeresboden dieser Gebiete durchaus schlammarm ist, wie die Seekarten ergeben, muß der Schlamm fortgeführt werden, und zwar durch die vorherrschenden Westwinde und die Flutströmung nach Osten in das Nordseebecken hinein. Nun ist aber durch die Untersuchungen des Korvettenkapitäns Holzhauser zweifelsfrei die Schlammarmut des Meeres nachgewiesen worden; denn von den 35 an verschiedenen Stellen der Nordsee gehobenen Grundproben setzten sich nur 5, die überdies dem exponierten Gebiet der Norwegischen Rinne entstammten, aus sandig-tonigen Bestandteilen zusammen.⁵⁾ Die Schlammteile müssen also noch weiter verfrachtet werden, in der Streichrichtung der Flut- und Windströmung, d. h. an unsere Küsten, in die Buchten, auf die Watten, in die Mündungstrichter. – Der Flutstrom und die Wellen im Verein mit der typischen Nebenerscheinung des sogenannten Küstenstromes transportieren den Schlamm also teils auf dem Umwege durch den südwestlichen Teil der Nordsee, teils direkt an dem Küstengestade entlang nach Osten. Unterwegs werden noch manche andere leichtschwebende Stoffe von den belgischen und holländischen Gestaden selbst, wie von dem submarinen, mit leichten Schlickmassen bedeckten Vorlande mit fortgerissen, worüber uns schon der Augenschein unterrichtet und Wasseranalysen belehren. Außerdem erzeugt das Meer selbst dadurch, daß das auf seinem Boden ruhende Geröll infolge der Gezeiten und Wellen, die bis hierher ihre lebendige Kraft in Arbeit umsetzen, in beständiger Bewegung sich befindet, Schabemehl, Schlamm. – Daß die eindringende Flut eine reiche Menge Detritus mit sich führt, darüber geben zahlreiche Analysen Aufschluß. So führen nach Haagen¹⁾ 100 000 Teile Jadewasser bei Wilhelmshaven an festen Stoffen:

Wibel fand in 100 000 Teilen Elbwasser, das er in der Unterelbe bei Hamburg bei Hochwasser am 3. Dezember 1875 schöpfte, durch Abfiltrieren 11 Teile feste Erdmassen.

¹⁾ H. Wagner, Lehrbuch der Geographie, 1908, S. 322 u. 323.

²⁾ Prestel, Boden und Klima von Ostfriesland, Emden 1870.

³⁾ R. Haage, Die Deutsche Nordseeküste, Diss. Leipzig 1899, S. 48.

⁴⁾ Fr. Wahnschaffe in „Forschung zur deutschen Landes- und Volkskunde“ von A. Kirchhoff, Bd. 6, 1892, S. 254.

⁵⁾ Die Ergebnisse der Untersuchungsfahrten S.M. Knbt. „Drache“ in der Nordsee in den Sommern 1881, 1882 u. 1884, Berlin 1896, S. 23. (Die Proben wurden von v. Gumbel untersucht.)

¹⁾ Haagen, Wasserbau, 1878, I. Bd., S. 237. Siehe S. 22.

Seyfert hat, wie Schucht berichtet²⁾, im Weserwasser zur Flutzeit in 1 cbm Wasser folgenden Durchschnittsgehalt an suspendierten Teilen gefunden.

Flutintervall	An der Oberfläche	2 m über dem Grunde	Flutintervall	An der Oberfläche	2 m über dem Grunde
1 Stunde nach Eintritt der Flut	19	23	4 Stunden nach Eintritt der Flut	12	20
2 Stunden nach Eintritt der Flut	19	26	5 Stunden nach Eintritt der Flut	11	16
3 Stunden nach Eintritt der Flut	15	24	Bei Hochwasser	10	13

Ort	Während der wärmeren Jahreszeit	Während der kälteren Jahreszeit	Ort	Während der wärmeren Jahreszeit	Während der kälteren Jahreszeit
Bei Bremerhaven	283,78 g	290,35 g	Bei Sandstedt	49,81 g	58,44 g
Bei Nordenham	115,27 g	162,39 g	Bei Käseburg	50,27 g	64,30 g
Bei der Luneplate	98,68 g	148,02 g	Bei Reikum	17,38 g	15,32 g
Bei Eljewarden	63,78 g	71,10			

Es dürfte somit zweifelsfrei feststehen, daß sowohl die Flußströmung als auch das Meer reiche Schlammmassen in die Flußmündungen verfrachten. Man glaubt nun, wie vorhin erwähnt wurde, festgestellt zu haben, daß im allgemeinen im Brackwassergebiet das Maximum des Schlickniederschlages, der hier zugleich den höchsten Prozentsatz an organischen Bestandteilen aufweist, erzielt wird. Wie erklärt sich das?

Angenommen, die Flut beginnt einzusetzen. Sie ist, wie Solger³⁾ treffend sagt, keine „schäumend heranrollende Woge, es ist ein langsames Ansteigen der Meeresfläche, unheimlich weniger durch die Macht, mit der das Wasser hineindringt, als durch die Unmerklichkeit, mit der es heranschleicht, bis wiederum nach sechs Stunden das Meer die Herrschaft über den Wattenbereich hat“. Sie dringt zunächst in die tiefer gelegenen Küstenöffnungen, die Flußmündungen und Gaten, ein, besetzt nach und nach die Sandbänke und die Watten und läuft die Flüsse hinauf. In dem äußeren Teil der Mündungen trifft sie mit der sedimentbeladenen Flußströmung zusammen; es entsteht eine Stauung, eine Ruhepause, während welcher ein Teil des Detritus beider Widerparten sich zunächst niederschlägt. Diesem Umstande verdankt die Ebbebarre in der Hauptsache ihre Entstehung. Der andere Teil wird von der vordringenden Flut weitertransportiert. Ein gleicher Stillstand entsteht in der Zone, wo der Lauf der Flutwelle sein Ende findet, in der Brackwasserzone, einem Gebiet, das sich nicht immer an derselben Stelle befindet, sondern naturgemäß infolge größerer oder geringerer Wasserführung des Flusses (durch Schneeschmelze, Eisstauungen, Trockenheit) wie der Flutwelle (bei Springfluten, Nipptiden) sich hin- und herschiebt. Während des etwa halbstündigen Stillstandes, bei dem Süß- und Salzwasser sich mischen, spielen sich interessante, sehr wichtige Vorgänge ab, die für die Schlickbildung von grundlegender Bedeutung sind, teils mechanischer, teils chemischer Art. So schlagen sich einerseits die sowohl im Fluß- als auch im Flutwasser suspendierten anorganischen Bestandteile nieder, andererseits finden während oder, besser gesagt, infolge der Süß- und Salzwassermischung Neubildungen organi-

²⁾ F. Schucht, Beitrag zur Geologie der Wesermarschen, 1903, S. 13.

³⁾ Fr. Solger, Die deutschen Seeküsten in ihrem Werden und Vergehen, 1907, S. 28.

schen Charakters statt. Es vollzieht sich nämlich mit der Mischung der beiden Wasserarten zu Brackwasser das Ausscheiden der kalkhaltigen Stoffe der für unser Auge nicht wahrnehmbaren Salz- und Süßwasserinfusorien¹⁾. Die Mischung ist also von einem großen Sterbeprozess begleitet. Die Lebensbedingungen für die im Süß- als auch im Salzwasser lebenden Infusorien und andere Lebewesen, Diatomeen, Globigerinen, Ostrakoden usw., sind beiden Arten nur in dem ihnen von der Natur zugewiesenen Element gegeben; sobald sie in das andere Element geraten, sterben sie und sinken zu Boden. Dieser Sterbeprozess läßt sich chemisch so erklären: Die im Süßwasser in gelöstem Zustande enthaltene Humussäure geht eine Verbindung ein mit den Basen der Meeressalze, der Kalkerde und Talkerde; die Infusorien bilden deshalb die Niederschläge dieses chemischen Ausscheideprozesses und liefern so den Schlamm, das wichtigste Bindemittel für die Sandmassen und übrigen Stoffe, die Meer und Fluß in den Mündungen anhäufen. Die humussauren Salze bilden den Hauptfaktor für die Entstehung des Schlicks. Treffend bezeichnet man deshalb das Brackwassergebiet als das *chemische Laboratorium* für die Geologie der Marschen (H a a g e) und diese zum großen Teil aus jenen Niederschlägen bestehenden fruchtbaren Gebiete als große Friedhöfe. So beträgt nach P r e s t e l²⁾ der Prozentsatz der organischen Bestandteile im Schlick des Emder Hafens $\frac{3}{5}$, während Ehrenberg ihn auf $\frac{1}{20}$ des Volumens berechnet. Alle diese Vorgänge bieten sich dem Auge durch eine intensiv schmutziggraue Färbung des Wassers dar; die Wassermassen scheinen zu rasten, aber in ihnen spielen sich hochbedeutsame Vorgänge ab.

Wäre man in der Lage, dieselben mit dem Auge betrachten zu können, so würde man staunen über den Regen an terrigenen und organischen Sedimenten, die sich hier niederschlagen. Einen ungefähren Begriff von der Menge der Schwemmstoffe bietet ein von B e y e r³⁾ angestelltes Experiment: er hatte an der Ostseite von Sylt im Watt bei Keitum, eine Zigarrenkiste ohne Deckel so in den Schlick hineingestellt, daß sie zur Hälfte darüber hinausragte und bei normalem Wasserstand nur zur Zeit der höchsten Flut unter Wasser stand. Nach 20 Tagen hatte sich die Kiste schon bis zu einer Höhe von fast 3 cm mit reinem Schlick gefüllt, was also pro Tag $1\frac{1}{2}$ mm ausmacht. Das würde fürs Jahr bei normalem Verlauf rund über $\frac{1}{2}$ m ergeben. In der Brackwasserzone dürfte jedoch der Schlickabsatz noch bedeutend größer sein; denn einmal konnten nur die in den Oberpartien der höchsten, schon in relativ ruhigem Zustande befindlichen Flut suspendierten Stoffe in die Kiste hineingelangen, während doch der Schlickgehalt, wie die H a g e n s c h e Tabelle⁴⁾ zeigt, bei jeder Stromphase mit der Tiefe zunimmt, und zum anderen ist die Schlickbildung infolge der geringeren Süßwasserzufuhr hier minimal, so daß es sich in nicht geringem Prozentsatz um angeschwemmte Schlickmassen handeln kann. Für unsere Flußmündungen dürfen wir annehmen, daß das Flutwasser ebenso viele Senkstoffe heranträgt als bei Sylt; wenn wir dann bedenken, daß dieses Quantum noch durch die Suspensionen des Flußwassers und die Neubildungen im Brackwassergebiet vermehrt wird, so würden, falls nicht die Ebbeströmung einen Teil hinausbeförderte und der Flutstrom, dessen Erosionskraft gerade durch die Einengung Steigerung erfährt, tiefe Fahrrinnen einnagte, unsere Flußmündungen verschlammten und gewaltige Deltas aufbauen. Ein Teil wird zwar auf den See-, Fluß- und Buchtenwatten, deren Höhe jedoch nie die Hochwassergrenze übersteigt, angehängert, allein wo bleibt der

¹⁾ Diese, sowie die nachfolgenden Erörterungen über den chemischen Ausscheideprozess sind H a a g e, Die deutsche Nordseeküste, entnommen, Diss. Leipzig 1899, S. 47, 48.

²⁾ P r e s t e l, Boden und Klima von Ostfriesland, Emden 1870.

³⁾ A. B e y e r, Untersuchungen über Umlagerungen an der Nordseeküste, Diss. Erlangen 1901, S. 34.

⁴⁾ Siehe S. 152 und 175.

weitaus größere Teil? Unsere Watten sind sozusagen gesättigt, weshalb H ü b b e¹⁾ meint, daß die überschüssige Menge in See hinausgelange, wodurch der Schlickreichtum des Meeres stetige Zunahme erfahre, eine Behauptung, die jedoch in krassestem Widerspruch steht mit den Seekarten und den Bodenuntersuchungen des Korvettenkapitäns H o l z h a u e r²⁾. Ein Rätsel muß es allerdings vorerst bleiben, wo der Überschuß untergebracht wird.

Halten wir also fest: Der Schlick entstammt drei Quellen:

1. Dem Flußwasser, das Detritus herabschemmt,
2. dem Meere, das an seinen Küsten und in seinem Schoße Schleifmehl aufbereitet und heranfrachtet,
3. dem chemischen Laboratorium der Brackwasserzone.

Woher stammt nun der Sand? Diese Frage, die außerordentlich wichtige Punkte sowohl der Sandbänke und der Inseln als auch besonders der Flußmündungen berührt, ist auffälligerweise kaum in den Bereich der Untersuchungen gezogen worden, und wo sie gelegentlich gestreift worden ist, da trifft man nicht selten die widersprechendsten Ansichten. Die Frage sollte bei dem Geographen und Geologen nicht weniger als bei dem Strombau-Ingenieur das lebhafteste Interesse erwecken.

Der Augenschein lehrt, daß durch Abbröckelung unserer Gestadeinseln viel Material gewonnen ward und noch wird. B e y e r³⁾ sagt bezüglich der Insel Sylt, daß ihre Westküste selber die Quelle sei, woher das Material sowohl für die ihr parallel verlaufenden Sandriffe als für die auf ihren Strand geworfenen Sandmassen stamme. Das Meer als die Quelle desselben lehnt er ab, wengleich es auch, wie er zugibt, durch Zerkleinerung und Zerreibung von größerem Material, Grand, Geröll, Gesteinen und Muscheln, eine gewisse Menge davon erzeuge. Er beruft sich dabei auf S o k o l o w⁴⁾, welcher schreibt: „Die verhältnismäßige Langsamkeit dieses Vorganges und die Beschränktheit der Fläche, auf welcher er sich abspielt, lassen vermuten, daß der vom Meere aufbereitete Sand einen unwesentlichen, sogar verschwindenden Teil der oft ungeheuren Massen ausmacht, welche von den Wellen an die Küste getragen werden.“ Beyer beweist aber gerade mit diesem Zitat, daß für das Material höchstens nur zum Teil die Küste als Quelle in Frage kommt; denn wo wären sonst unsere Inseln, wenn sie seit so vielen Jahrhunderten, ja Jahrtausenden solche Massen abgegeben hätten, die S o k o l o w als oft ungeheure bezeichnet. Und dann muß man hier auch einwenden: woher stammt denn die Inselreihe bzw. die Dünenkette? Außerdem sei nach seiner Meinung die Transportkraft der Meeresströmung zu gering und die Entfernung derselben von der Küste zu groß, um aus entfernteren Gebieten Sand hierher zu transportieren. Nach B e y e r s Auffassung kommen für die Sandanhäufungen an der nordfriesischen Inselreihe auch die kleinen Küstenflüsse nicht in Betracht. – Für die Verschlammungen zwischen Ems und Elbe glaubt P r e s t e l⁵⁾ den Detritus von den englischen und schottischen Küsten verantwortlich machen zu müssen.

Kurz, diese kleine Auslese legt uns nahe, bei unserer Untersuchung bezüglich der Herkunft der Sandanspülungen an unserer deutschen Nordseeküste vornehmlich drei Punkte einer Prüfung zu unterwerfen:

1) Zeitschrift für Bauwesen, X, Berlin, 1860.

2) Vgl. folgende Seite.

3) A. Beyer, Untersuchungen über Umlagerungen an der Nordseeküste, Diss. Erlangen 1901, S. 24.

4) S o k o l o w, Die Dünen, Berlin 1894, S. 35.

5) P r e s t e l, Boden und Klima Ostfrieslands, Emden 1870.

α) das Meer, β) die Inselreihe, γ) die Flüsse.

Wenden wir uns zunächst α) der Nordsee zu und fragen uns: Beherbergt das Meer Sandmassen und woher stammen sie?

Darüber geben uns in erster Linie die Seekarten und die Untersuchungen der Forschungs-
expedition mit S. M. Kanonenboot „Drache“ 1881, 1882 und 1884¹⁾ Aufschluß. Ein flüchtiger
Blick auf die Seekarte genügt, um zu erkennen, daß unter dem Bodenbelag der Sand
vorherrschend ist. Dasselbe Resultat ergaben auch die Untersuchungen H o l z h a u e r s. Die
an 35 Stellen gehobenen Meeresgrundproben jener Expeditionen hatten das Ergebnis, daß bei
26 Proben quarzig-sandige Bestandteile festgestellt wurden, welche locker gebunden, hell-
gräulich, weißlich oder rötlich gefärbt waren (H a g e, S. 23). Fünf der tiefen norwegischen
Rinne entstammende Proben enthielten sandig-toniges Material, fest gebunden, in nassem
Zustande bis zu einem gewissen Grade plastisch, dunkel- und schwärzlichgrau gefärbt, und
nicht unbeträchtliche Mengen feinsten Sandes. Südlich von den Shetland-Inseln wurden fast
nur zerbrochene Muschelschalen gefunden. Drei im Nordwesten und Westen von Helgoland
aus 25, 35 und 37 m Tiefe geförderte Proben ergaben folgendes Resultat: lockerer Quarzsand
und abgerollte, feine Quarzkörnchen bis zu 5 mm Durchmesser von blaßrötlicher bis
gelblicher Färbung, untermengt mit zahlreichen Blättchen von Kali- und Magnesiaglimmer,
Granaten, Hornblende-, Feldspat- und Orthoklasstückchen, Zirkon, Magneteisen und Glau-
konit (H a g e, S. 23). Chemisch untersucht, verrieten sie einen beträchtlichen Gehalt an
kohlen-saurem Kalk, der von den kleinen, abgeriebenen Trümmern von Muschelschalen,
besonders Foraminiferen, Ostrakoden, Radiolarien und in kleinen Mengen auch Diatomeen
herstammt. Ungefähr unter dem Meridian von Ameland und dem Parallelkreise von Föhr
findet sich feiner, lockerer, glimmerreicher Sand mit ziemlich starkem Gehalt an abschlemm-
barem Ton; es kommen in demselben wohlabgerundete Sandkörnchen vor von 0,1 mm
Dicke, ferner Hornblende, Granat, Orthoklas, Hypersthen und Plagioklas. Eine auf dem
sechsten Längengrade gegenüber Sylt und eine andere gegenüber Ring-Kjöbing-Fjord gehö-
bene Probe ergaben rötlichen, infolge seines Gehaltes an Magneteisenteilchen rostfarbenen,
feinkörnigen Quarzsand, mit Glimmer untermischt, und ziemlich reichlich vorhandenen
Schlamm mit nicht unbeträchtlicher Beimengung von Foraminiferen, Echiniden-Stacheln
usw. (H a g e)²⁾.

Ferner bemerkt das Segelhandbuch³⁾, daß die südlich vom Parallel von Hanstholm bis
zum Abstände von etwa 50 sm von der jütischen Küste sich erstreckende Jütland Bank aus
Sand von verschiedener Farbe und Feinheit besteht. Vorwiegend ist grober Sand, auch
Kiesgrund mit kleineren Steinen; Schlammablagerungen kommen nicht vor. Die große Fischer
Bank, etwa 100 bis 150 sm westlich von der jütischen Küste..., zeigt feinen Sand, an
einzelnen Stellen mit Schlick untermischt; Muscheln und kleinere Steine kommen nicht vor.
Der Grund der Doggerbank besteht größtenteils aus feinem, grauen Sande, teils mit Sprenkeln
oder Muscheln durchsetzt; im Westen und Südwesten werden Kies und sogar Steine gefun-
den. Der Grund des Außenriffs von Horns Riff besteht überall aus grobem, hellem Sande, auf
tieferen Stellen meist mit Kies vermengt. Südlich von dem inneren Teile des Riffs findet sich
feiner, dunkler Sand, während der Grund südlich von dem äußeren Teile des Riffs und längs
der ganzen Nordseite desselben sehr verschieden ist⁴⁾.

¹⁾ „Die Ergebnisse der Untersuchungsfahrten S.M. Kanonenboot ‚Drache‘ in der Nordsee
1881, 1882, 1884“, Berlin 1896.

²⁾ R. H a g e, Die deutsche Nordseeküste, Diss. Leipzig 1899, S. 22 ff.

³⁾ Segelhandbuch der Nordsee, 1906, I, 3, S. 32.

⁴⁾ Segelhandbuch 1906, I, 3, S. 33, 63.

Zusammenfassend können wir also sagen: alles in allem genommen, trägt der Boden der Nordsee einen sandigen Charakter. Die sandigen Bestandteile enthalten nicht unbedeutende Beimengungen von Urgebirgsmineralien, aus denen sich die Gebirge Norwegens und Schottlands zusammensetzen. Vulkanische Gesteinsfragmente fehlen, ein Beweis dafür, daß die Bildung der Nordsee in ihrer letzten Vollendung ohne irgend welche wesentliche Einwirkung vulkanischer Kräfte sich vollzog (H a a g e).

Woher stammt aber dieser Bodenbelag? Ist er ein alter Bestand, oder findet er noch neue Zufuhr und woher? Diese Fragen sollen uns im weiteren beschäftigen.

Sind nun, da die Nordsee im Frühalluvium, also bald nach dem Diluvium entstanden sein muß, die diesen beiden Zeitaltern charakteristischen Bodenarten nachweisbar? Bezüglich des Alluvialzeitalters sind wir geneigt, solches ohne weiteres anzunehmen¹⁾. Ob dasselbe aber auch für die Diluvialzeit der Fall ist, bedarf des Nachweises. Nach B r o w n e²⁾ tritt uns nach Rückzug des Eises das Nordseegebiet als anglo-skandinavisches Festland mit derselben Flora und Fauna, die wir noch heute antreffen, entgegen. Darauf soll sich die Bildung der Nordsee durch Senkung vollzogen haben. Ist das der Fall, so muß die diluviale Bedeckung des Gebietes mit gesunken sein. Beweise dafür dürften die noch heute an den Gestaden angetroffenen Diluvialmassen sein. So ist unter den Dünen der Gestadeinseln und unter dem angrenzenden Festlande im Süden und Osten als Liegendes der Diluvialboden festgestellt worden. W o l f f³⁾ erwähnt, daß auf Sylt bei Buhne 8 eine mächtige, ohne Unterbrechung bis zum Ende des Roten Kliffs reichende und fast eine deutsche Meile lange Decke von Geschiebelehm sich befindet. Ferner ist nach ihm noch das alte diluviale Hügelland im ganzen mittleren Teil der Insel, wo es sich bis über 25 m erhebt, zu erkennen (S. 47). Unter der Marsch setze sich der Diluvialboden fort, oft nur ½ m unter der Oberfläche (S. 48). Zwischen Westerland und Hörnum und vom Kampener Kliffende nordwärts bis List sei in geringer Tiefe unter dem Flugsand der gesunkene Diluvialboden und bilde weit in See hinaus den Untergrund. Der ganze Sylter Dünensand ist aus der Zerstörung eines diluvialen und tertiären Außenlandes hervorgegangen. Ebenso wurde unter Wangeroog, wie unter den holländischen Inseln⁴⁾ Diluvialboden nachgewiesen. Auch der feste Tonboden des Borkum Riffs, von dem das Lot, mit dem der Seemann sich durch Nacht und Nebel tastet, auch nicht das geringste ans Tageslicht zu heben vermag, ist diluvialen Ursprungs. Ebenso ist im Mündungsgebiet der Jade⁵⁾ schon in ganz geringer Tiefe als Liegendes die Diluvialschicht anzutreffen. Endlich sei noch darauf hingewiesen, daß die Geest des nahen Festlandes im Süden und Osten der deutschen Bucht aus Diluvialboden (Lehm, Mergel, Kies und Sand) besteht, der hier offen zu Tage tritt⁶⁾. – Angesichts dieser unumstößlichen Feststellungen ist der Schluß durchaus berechtigt, daß auch das Gebiet der Nordsee mit den eiszeitlichen Massen bedeckt gewesen sein muß, die dann aber bei der allmählichen Senkung mit in die Tiefe gerückt sind, wo der Rest noch heute lagert, wie die Funde von Glimmer, Quarz usw. vermuten lassen.

Wir dürfen also mit Fug einen Teil des Bodenbelags der Nordsee als diluvialen Ursprungs ansprechen. –

¹⁾ Vgl. S. 285.

²⁾ Siehe S. 273.

³⁾ W. W o l f f, Entstehung der Insel Sylt, 1909.

⁴⁾ „Forschung zur deutschen Landes- und Volkskunde“ von A. K i r c h h o f f, Bd. 6, 1892, S. 252, 254.

⁵⁾ Untersuchungen in der Jade. Vgl. S. 4 und 5.

⁶⁾ J. M a r t i n, Über den Einfluß der Eiszeit auf die Entstehung der Bodenarten und des Reliefs unserer Heimat, Bremen 1898. – J. M a r t i n, Diluvialstudien I und III, Osnabrück und Bremen 1893 bis 1896.

Die Entwicklungsgeschichte der Nordsee (vgl. *Brown e*) zeigt uns, daß nach deren Bildung die gebirgigen Ufer Englands und die Flachküsten im Süden und Osten viel weiter seewärts reichten, an unserer Küste etwa bis zur 20-m-Isobathe. Es liegt auf der Hand, daß die *Zertrümmerungsmassen all dieser Landgebiete*, soweit sie nicht durch Senkung in die Tiefe gerückt worden sind, was für die deutsche Nordseeküste größtenteils wohl anzunehmen ist, dem *Nordseebecken* zugeführt wurden. Ob die Gesteinsfragmente, von denen *v. Gümbel* sagt, daß sie den Verdacht vulkanischer Abkunft erregen, auf die gewaltigen Gebirgsmassen hindeuten, die sich im Eocän im Norden auf türmen und (Vulkane⁷⁾ getragen haben sollen, einen Gebirgsblock, auf dem sich nach *H a a s*¹⁾ im Pliocän Laterit bildete, will ich unerörtert lassen. –

Dürfen wir nun auch annehmen, daß von Westen her, von den *englischen* und *französischen* Küsten durch den Kanal hindurch analog dem dort aufbereiteten Schlamm Sandmassen in die Nordsee hinein verfrachtet werden? Wird dort aber überhaupt Sand aufbereitet? Die Bestandteile der Küstengebirge am Kanal, die in der Hauptsache aus leichtlöslichem Kalkstein und Kreide bestehen, liefern zwar reichlich Schlamm, allein ob man aber auch mit der Aufbereitung der in der Kreide versprengt vorkommenden harten Feuersteinknollen zu Sand zu rechnen hat, darüber ist man geteilter Meinung. Denjenigen, die diese Quelle ablehnen, steht ein von *Frisi* ausgeführtes Experiment zur Seite²⁾. „Er ließ grobe Flußkiesel teils unmittelbar durch Handarbeit schütteln und stoßen, teils aber brachte er sie in eine Trommel, welche lange Zeit hindurch mittels einer Mühle gedreht wurde. Der Erfolg war genau von der Art, wie er sich voraussehen ließ: die Steine verloren nämlich ihre scharfen Ecken und rundeten sich ab (genau dieselbe Vorrichtung wendet man auch an, um die kleinen Marmor- und Achatkugeln herzustellen). Das gelöste Material war aber keineswegs Sand, sondern ein sehr fein zerteilter Staub oder Schlamm, nämlich Staub, wenn die Steine trocken, und Schlamm, wenn sie benetzt waren. Bei den vielen Versuchen kam es nur ein einziges Mal vor, daß ein Stein zerbrach, welcher möglicherweise schon früher einen Riß hatte. Wollte man also die erwähnte Ansicht verfolgen, so müßte man annehmen, daß aus jedem Stück Geschiebe im allgemeinen nur ein einziges Sandkörnchen würde, was gewiß niemand behaupten wird“ (*H a g e n*). Denn meines Erachtens sind gegenüber den Ergebnissen solcher Versuche schwerwiegende Bedenken berechtigt; kaum dürfte es gelingen, die Naturkräfte, am schwierigsten die hier in Betracht kommenden, in ihrer Stärke und Eigenart in naturgetreuer Weise zum Ausdruck zu bringen: Erinnern wir uns nur daran, daß die von Natur doch eckigen Steintrümmer von der Brandungswelle, die einen Felsblock im Gewicht von 1370 Tonnen 10 bis 15 m weit (s. S. 14) fortzubewegen vermag, mit unvergleichlich größerer Vehemenz an die zackigen Felswände gleich Projektilen geschleudert werden, als das in der Trommel mit ihren noch dazu glatten und symmetrisch zum Zentrum liegenden Wänden nachgeahmt werden kann. Wir glauben deshalb keinen Fehlschluß zu tun mit der Annahme, daß auch die Feuersteinknollen zum Sandquantum ihre Beisteuer liefern. Doch fällt diese Quelle gar nicht so sehr ins Gewicht; es sprudeln hier eben unvergleichlich reichere Quellen. So berichtet *G. W. v. Z a h n*³⁾ von großen, hauptsächlich von der Brandungswelle aufbereiteten Sandmassen an den Klippenküsten der Bretagne. Auch die Ströme sind hier in diesen Gebirgsgegenden infolge des stärkeren Gefälles und der Art der bestrichenen Gesteinsmassen

⁷⁾ Vgl. „Globus“ 1894, Band 65, S. 198.

¹⁾ *H. H a a s*, Zeitschrift „Ausland“ 1893, Nr. 11 u. 12.

²⁾ *H a g e n*, Wasserbau, I, 2, S. 168.

³⁾ *G. v. Z a h n*, Die zerstörende Arbeit des Meeres an Steilküsten, nach Beobachtungen in der Bretagne und Normandie i. d. J. 1907 u. 1908, Hamburg 1909. (Mittlg. d. Geogr. Gesellsch.)

sehr viel sandreicher als im norddeutschen Flachlande, wo sich die schwereren Geschiebe gleich nördlich von den deutschen Mittelgebirgen ablagern. Ferner dürfte es durchaus innerhalb der Grenzen der Möglichkeit liegen, daß auch der sturm- und gezeitenbewegte Atlantische Ozean Sände an diese Küste hinan- und in Anbetracht der sanften Neigung des Schelfs direkt in den Kanal hineinverfrachtet. Kurzum: mag nun der eine oder der andere Ort die Quelle für diese Sände sein, einerlei – soviel steht fest: an den französischen und englischen Küsten lagern reiche Sandmassen⁴⁾.

Für uns tritt nun die Frage in den Vordergrund, ob diese Sandmassen auch durch den Kanal in die Nordsee hineintransportiert werden. Wenn der um die Nordwestspitze Spaniens eindringende Flutstrom den Detritus der felsigen Nordküste längs der Gascogne absetzt⁵⁾, also durch den südlichen tiefen Teil des Busens von Biscaya hindurchtransportiert, und wenn er die Abrasionsprodukte der Kalkküste von Calvados nach der Seine-Bucht, westlich von Honfleur führt¹⁾, so ist die Verfrachtungsmöglichkeit bezüglich der französischen und englischen Küste in Anbetracht der Richtung und Kraft der an ihr hinstreichenden Flutströmung und Brandungswelle²⁾ und der Seichtheit des Meeresgebiets eine weit günstigere. Die Wanderungsrichtung dürfte sich in der auffälligen Sortierung bezüglich der Größe des Kieses kund tun: trifft man nämlich bei Dieppe noch den gröberen Kies, so begegnet er uns bei Boulogne unter starker Beimengung von Feuersteinstückchen in kleineren Fazies, während unweit Calais den noch kleiner gewordenen Steinchen schon große Sandmassen beigemischt sind; Dünkirchen zeigt hingegen nur noch Sandablagerungen.³⁾ Die von G. v. Zahn⁴⁾ an den Küsten der Bretagne gemachten Spezialstudien bestätigen die Transportrichtung. Bei Hagen³⁾ lesen wir, daß der Kies von Westen nach Osten wandert; Krümmel⁵⁾ behauptet solches sogar von den Feuersteinknollen.

Kurz: Für die Speisung des Sandreservoirs der Nordsee kommen auch die französischen und englischen Kanalküsten in Betracht. –

Als ständigen Zeugen der so überaus wechselvollen Wandlungen des Gebietes lernen wir den Rhein kennen, dem vor der Bildung der Nordsee alle heute selbständigen Nordseeflüsse tributpflichtig waren. Im Pliocän mündete er irgendwo in der Höhe von Norfolk in einer see- und sumpfreichen Deltalandschaft. An der Ostküste Englands setzten er, sowie später die schrittweise aus seinem Tribut entlassenen Flüsse ihre ungeheuren Schottermassen in einer Mächtigkeit von vielen Metern ab⁶⁾, ein Prozeß, der sich noch heute unter unsern Augen nicht allein bezüglich des Rheins, sondern auch der seit der Bildung der Nordsee im Frühalluvium der Selbständigkeit sich erfreuenden anderen Flüsse vollzieht. –

β) Die Inselreihe. Über ihre Entstehung liest man die sich widersprechendsten Ansichten: Einer⁷⁾ spricht sie als marine Schöpfungen an, die durch Anschwemmung von Sandmassen an die Diluvialerhebungen des Festlandes gebildet wurden, ein anderer⁸⁾ betrach-

⁴⁾ Vgl. Hagen, Wasserbau, III, 1.

⁵⁾ H. Wagner, Lehrbuch der Geographie, 1908, S. 337.

¹⁾ A. Supan, Grundzüge d. phys. Erdkunde, 1911, S. 597.

²⁾ Vgl. S. 287 ff.

³⁾ Vgl. Hagen, Wasserbau, III, 1, S. 213.

⁴⁾ G. v. Zahn, Die zerstörende Arbeit usw.

⁵⁾ Petermanns Mitteilungen, Jahrgang 1889, S. 132.

⁶⁾ Siehe Browne, Contemporary Review, 1893. (Vgl. Globus, 1894, Band 65.)

⁷⁾ Vgl. Forschung zur deutschen Landes- und Volkskunde von A. Kirchhoff, Bd. 6, 1892, S. 254.

⁸⁾ Vgl. R. Haage, Die deutsche Nordsee, 1899, S. 48 ff.

tet sie als kontinentale Abgliederungsinseln. Es kann jedoch nicht unsere Aufgabe sein, dieser Frage, deren Erörterung einen sehr umfangreichen Apparat erfordert, der den Rahmen der vorliegenden Arbeit weit überschreiten würde, auf den Grund zu gehen.

Wahrscheinlich bildeten die Inseln in alten Zeiten eine zusammenhängende Dünenkette, nur durchflossen von den größeren Flüssen. Denn der ganzen Bodengestaltung bei den friesischen Inseln und im ausgedehnten Wattengebiet ist nach Krümmel erst durch die Gezeitenströmung der charakteristische Typ aufgedrückt worden.⁹⁾ Die säkulare Senkung, von der die Dargschichten unter der Marsch und die submarinen Wälder und Moore Zeugnis ablegen, sowie der nach Brown an der Schwelle der historischen Zeit, nach Walther vor 6000 bis 8000 Jahren erfolgte Durchbruch des anglo-französischen Isthmus, ferner der stärkere Flutwechsel, der ja erst nach diesem Ereignis besonders in die Erscheinung tritt, machten ihre verheerenden Einwirkungen auf die Dünenkette geltend: von der Kanalbildung an datiert der Kampf um ihr Dasein – mit welchem Erfolg, ergibt der traurige Anblick der kümmerlichen Relikten jener ehemals nicht unbeträchtlichen Dünenkette. Bildete doch nach Hahn¹⁰⁾, Hagen¹¹⁾ und einer Reihe anderer Fachleute¹²⁾ die 20-m-Isobathe die damalige Grenzlinie der Dünenkette. Das Abbruchmaterial der einst vom Winde unter Assistenz des Meeres aufgebauten Dünenkette sank und sinkt wiederum in den Schlund des Meeres hinab, wodurch sich die Reihe der Nährquellen der Nordsee um eine neue vermehrt. –

γ) Der Flüsse als Spender haben wir schon an verschiedenen Stellen gelegentlich gedacht. Der Gehalt an Suspensionen für die Flüsse der norddeutschen Tiefebene muß als ziemlich beträchtlich bezeichnet werden. Nach Wagner¹⁾, der die Flüsse allerdings als ziemlich schlammarm bezeichnet, beträgt der Gehalt an Schlamm in 1 cbm Wasser 100 g, während der Prozentsatz an Sänden und Kiesen wahrscheinlich geringer sein dürfte, weil diese sich auf ihrer weiten Wanderung infolge Aneinanderreibens zu Schleifmehl aufbereiten; doch dürften sich die herabgeschwemmten Sandmassen je länger desto mehr an den Flußmündungen bemerkbar machen. –

Als Quellen des Materials der Nordsee haben wir also kennengelernt:

1. Diluvialmassen, 2. die Abrasionsprodukte ihrer Küsten einst und jetzt, 3. die der englisch-französischen Kanalküsten, 4. die Flußalluvionen.

Das Nordseebecken ist mithin ein Sandreservoir, das reichlich spendender Quellen sich erfreut. –

Es drängt sich nun die Frage an uns heran, ob diese Quellen dauernd Material zu liefern imstande sind, oder ob die Möglichkeit des Versiegens vorliegt.

Da die Sandmassen des Meeres stets in Bewegung sich befinden, liegt die Annahme nahe, daß ein Teil derselben in Schleifmehl umgewandelt und in Anbetracht der Armut des Beckens an Schlamm von den Agentien des Meeres fortgetragen und an ruhigeren Stellen, Watten, Buchten usw., abgesetzt wird. Dieses Quantum ist also für die See in Abgang zu bringen, und wenn letztere nicht Ersatzquellen hätte, würde der Bodenbelag sich schließlich aufbrauchen, was für den Bau der Bänke eine arge Verlegenheit bedeuten müßte.

⁹⁾ Vgl. Petermanns Mitteilungen 1889, S. 129 ff.

¹⁰⁾ Hahn, Untersuchungen über das Aufsteigen und Sinken der Küsten, 1879, S. 170.

¹¹⁾ Hagen, Wasserbau.

¹²⁾ Vgl. Forschung zur deutschen Landes- und Völkerkunde von A. Kirchhoff, Bd. 6, 1892, S. 250 ff.

¹⁾ H. Wagner, Lehrbuch der Geographie, 1908, S. 323.

Bezüglich der Flüsse und des Laboratoriums dürfte die Gefahr des Versiegens gänzlich ausgeschlossen sein. Wie steht es aber in dieser Beziehung mit den Abrasionsmassen der Küsten? Die geologischen Karten lehren, daß die für diese Frage in Betracht kommenden Gebirgsdistrikte Englands und Frankreichs größtenteils aus weicherem Gestein, überwiegend aus Kalkstein, bestehen, so daß auch diese Quelle sich wohl kaum erschöpfen dürfte. – Wie steht es aber mit der Verfrachtungsfrage, wenn der Kanal sich um das So- und Sovieelfache verbreitert haben wird, welcher Fall ja schließlich eintreten muß? Einerseits wird der Strömung das Hindurchschieben größerer Wassermassen wegen der Breite des Tores zwar erleichtert, andererseits aber auch die Erosionskraft und damit Tragfähigkeit dadurch geschwächt, ein Plus und ein Minus, die sich im allgemeinen aufheben dürften und wohl kaum eine Änderung in dieser oder jener Hinsicht erwarten lassen.

Für die sandigen Flachküsten Hollands und Deutschlands liegt die Sache wesentlich anders. Zunächst bieten sie der Abrasion ein so dankbares Arbeitsfeld wie keine andere Küste. Aber was ihnen im Vergleich zu den Felsküsten von der Natur versagt ist, das sucht der Mensch auf künstlichem Wege durch Uferbefestigungen zu ersetzen. Denn klaren Auges erkennend, daß das nimmersatte Meer ein Stück nach dem andern hinabspülen wird in seinen gierigen Schlund, tritt er entschlossen dem entgegen. Mit welchen Aussichten, kann erst die Zukunft zeigen. Bis heute eröffnet der Kampf noch keine absolut günstige Perspektive. Zwar ist es gelungen, den „goldenen“ Reifen der Deiche immer weiter vorwärts zu schieben, auch die Inseln an besonders gefährdeten Punkten ziemlich erfolgreich zu verteidigen; aber an andern nagt und nagt die Welle ungehindert weiter, so daß die Eingriffe des Menschen bezüglich der Verringerung der Abrasionsmasse noch nicht überall den erwünschten Erfolg haben dürften. Das lehren besonders die Sturmfluten. – Als ein besonders kräftiger Umgestaltungsfaktor ist neben der Brandungswelle der Flutstrom, der vor allen Dingen durch eine rechtsseitige Kraftäußerung die Flußmündungen nach W herumzieht¹⁾, eine Erscheinung, die, wenn es dem Menschen nicht gelingt, dem Einhalt zu tun, zunächst den Inseln, zu guter Letzt der Festlandszone mit zum Verhängnis gereichen wird. – Der gefährlichste Feind würde aber dem Menschen erwachsen, wenn sich die Hypothese der Senkung bewahrheiten sollte, ein Umstand, der für ihn die Bedeutung einer absolut sichern schließlichen Niederlage haben, für das Meer aber eine schier unerschöpfliche Quelle neuen Materials erschließen würde.

Zusammenfassend können wir also sagen, daß das Nordseematerial sich in absehbarer Zeit nicht erschöpfen wird, ja, daß sogar bei Eintreffen verschiedener Umstände, die in Ansatz zu bringen wir zur Zeit allerdings noch nicht berechtigt sind, betreffs des Sandmaterials der Nordsee eine außerordentlich günstige Perspektive sich eröffnet. –

Findet nun das Sandmaterial der Nordsee beim Bau der Sandbänke Verwendung? Bezüglich der an den südlichen und östlichen Küstengestaden aufbereiteten, sowie von der Flußströmung herabgespülten Massen ist man berechtigt, dies ohne weiteres annehmen zu dürfen. Ob das aber auch hinsichtlich des im Schoße des Meeres befindlichen Materials der Fall ist? Es wird also zu untersuchen sein, ob den hierbei in Betracht kommenden Naturkräften die Fähigkeit, Sandmassen verfrachten zu können, innewohnt, ob sie an der Böschung unserer Küste dieselben hinauftransportieren, wie dieser Vorgang sich abspielt und in welchem Maße die Sandbänke davon berührt werden. Die Faktoren, auf die wir daraufhin unsere Untersuchung ausdehnen müssen, sind: die Wellen, die Flutströmung und die Meeresströmung.

¹⁾ Vgl. S. 168.

Wir wollen dabei zunächst nur die Südküste ins Auge fassen, da Nordfriesland sich durch seine Lage von ersterer wesentlich unterscheidet.

Zum leichteren und sicheren Verständnis dürfte es geraten erscheinen, zweier Gesetze vorbemerkend zu gedenken:

1. die Zunahme der Erosionskraft und Transportfähigkeit steht im Verhältnis zu der von irgend einer Seite erfolgten Beengung;
2. die Begegnung zweier sedimentbeladenen Ströme ruft eine Stauung und damit ein Niederschlagen der Suspensionen hervor – Gesetze, denen wir in nachfolgendem auf Schritt und Tritt begegnen.

Die Wellen. Besonders charaktervoll ist die an die Gestade sich stoßende Welle, die Brandungswelle, von der Wagner²⁾ sagt: „Wir kennen unter den zerstörenden Kräften der Erdoberfläche wenige, die so gewaltig sind wie die Brandung.“ So schaffte sie im Hafen von Wick (Schottland)³⁾ einen Block mit seinen Fundamenten im Gesamtgewicht von 1370 Tonnen 10 bis 15 m weit fort und übt auf den Leuchtturm von Bell Rock einen Druck von 14 700 kg und auf den von Skerryvore einen solchen von 29 700 kg pro qm aus⁴⁾. In ihrer größten Kraftentfaltung ist sie eine feindliche Gewalt, gegen die trotz der heute so hochentwickelten Technik selbst die mit dem größten Scharfsinn und mit verschwenderischem Aufwand errichteten, menschlichen Bollwerke nicht absolute Sicherheit bieten. Schon in ihrer harmlosesten Gestalt übt sie einen höchst wirkungsvollen Effekt aus. Und nun vergegenwärtige man sich die von einem Nordweststurm mit der Windstärke 10 bis 12 aufgewühlte Nordsee!

Unsere Flachküste nun gibt der Brandungswelle eine charakteristische Gestalt. Das Verhältnis der Wellenlänge zur Wellenhöhe wird nach dem Strande zu immer kleiner; denn die Wellenlänge ist der einfachen Wassertiefe proportional. Da die Welle nämlich mit der Vorderseite durch das Ufer, im Rücken durch die nachsetzende neue Woge und ebenso seitlich eingeeengt ist, sucht sie nach der einzig freien Richtung, nach oben, auszuweichen. Aber auch dieses Ausweichen hat seine Grenzen; denn die Welle beginnt überzukippen, sobald die Wassertiefe kleiner wird als die Wellenhöhe, ein Vorgang, den man mit dem Namen Brandung¹⁾ bezeichnet. Diese Erscheinung wird noch durch den sogenannten „Soog“²⁾ begünstigt. Während nämlich die oberen Wellenpartien noch landwärts eilen, entsteht in den tieferen Schichten am Boden durch den Überdruck, der durch Anhäufung von Wasser am Strande hervorgerufen wird, ein rückläufiger Strom, der naturgemäß die Instabilität der Welle begünstigt. Dies zurückfließende Wasser nennt man Soog.

Eine andere charakteristische Eigenschaft wird an unserer Flachküste dadurch den Wellen verliehen, daß die Wassermasse selbst die Geschwindigkeit der Wellen annimmt, ein Umstand, in dem zum nicht geringsten Teil die Nährquelle der Kraft liegt. Es ist nämlich ein Unterschied zu machen zwischen der Wellengeschwindigkeit und der der Wassermasse. Daß letztere bei ungestörter Entwicklung nur eine minimale ist, erkennt man an einem treibenden Gegenstand, der annähernd die Wassergeschwindigkeit angibt, während die Wellen, die

²⁾ H. Wagner, Lehrbuch der Geographie, 1908, S. 334.

³⁾ A. Supan, Grundzüge der physischen Erdkunde, 1911, S. 585.

⁴⁾ Ebenda.

¹⁾ Siehe Karte und Bild in Haas, Nordseeküste, S. 161.

²⁾ Bemerkung: Den sogenannten Sog kann man leicht durch ein ins Wasser geworfenes Holzstückchen und Tuch feststellen; während das an der Oberfläche schwimmende Holz von der anlaufenden Welle strandwärts getragen wird, schwimmt das am Boden zurückfließende Wasser das durchtränkte Tuch nach der See zu. In dem Sog liegt eine große Gefahr beim Baden während hohen Seeganges. (Vgl. Hagen, Wasserbau.)

beispielsweise im Atlantischen und Stillen Ozean nach Hagen 6 bis 7 deutsche Meilen in der Stunde durcheilen, unter ihm hinwegstreichen. Wären auf hoher See beide Geschwindigkeiten gleich, so würden unsere Meere meistens unbefahrbar sein, weil die Wellen die Schiffe zertrümmern würden, was mit den gestrandeten tatsächlich geschieht. Infolge der gleichen Geschwindigkeit beider Bewegungen und des heftigen Anpralls an widerstandsfähige Felsküsten erreicht die Klippenbrandung so beträchtliche Höhen, die nach Stevensons Beobachtungen im Durchschnitt der 7fachen (genau der 6.6fachen) Wellenhöhe³⁾ gleichkommen. Da nun Munkel letztere zwischen Hull und Helgoland auf offener See bei stürmischem Wetter bis auf 4 m und bei weiterer Steigerung des Sturmes im Maximum auf 5¼ m, Stevenson die Maximalhöhe bei Sunderland auf 4 m, ein englischer Kapitän in der Nordsee auf höchstens 6 m schätzt, so würden die Wellen nach obiger Formel an den Klippen im günstigsten Falle eine Maximalhöhe von 42 m erreichen. Wenn wir nun jene Formel auch nicht auf die Flachküste anwenden dürfen, so ist doch soviel ersichtlich, daß an unserer deutschen Nordseeküste zu den Zeiten der Springfluten in Begleitung anhaltender Nordweststürme die Wellenhöhe eine sehr beträchtliche sein muß. So läuft die Brandung zwischen Hanstholm und Vorupör bei stürmischem Wetter an Land bis zu 3,8 m über die Hochwassergrenze⁴⁾. Schütte⁵⁾ berichtet, daß am Hohenweg-Leuchtturm die Wellen schon bei Windstärke 10 bis zu der Brüstung, die 8 m über dem zur Ebbezeit unbenetzten Fundament angebracht ist, hinaufleckten und daß der Gisch fast bis zur Höhe des Semaphorenmastes spritzte und alle Gegenstände in seinem Bereich mit einer weißen Salzkruste überzog (S. 36). –

Für uns ist es nun wichtig, zu erforschen, bis zu welcher Tiefe die Welle sich bemerkbar macht. Nach der auf experimentellen Untersuchungen der Gebr. Weber beruhenden Theorie ist die Wellentiefe gleich dem 350fachen Betrage der Wellenhöhe. Wenngleich nun auch erstere bei größeren Tiefen eine Einschränkung erfährt, so ist die Welle nach Supan dennoch imstande, ihre lebendige Kraft bei einer Tiefe von 200 m in Arbeit umzusetzen.⁶⁾ Laut Berichten von Seeleuten kommt es vor, daß Sturmwellen in der Nordsee und auf der Neufundland-Bank aus einer Tiefe von 50 m Sandkörner auf Deck spülen⁷⁾, Beweise dafür, daß schon bei mäßig bewegter See der Bodenbelag fast der ganzen Nordsee in Bewegung sein muß, da der ganze südliche Teil die Tiefe von 100 m¹⁾ nirgends überschreitet. Es ist mithin gewiß keine gewagte Behauptung, daß der N-, NW- und W-Wind schon bei mäßiger Stärke Sandmassen an unsere Küste verfrachtet, auf dem Boden die gröberen Sände, nach oben hin von „grob“ zu „fein“ allmählich abnehmend, jene vielleicht ruckweise, diese ständig in der Schwebe. Wegen der überaus flachen Böschung unseres Kontinentalsockels wird es den Wellen ein leichtes sein, die Sände hinaufzubefördern. Vermehrt wird diese Masse um die durch die Brandung und durch die ablaufende Welle vom Sandstrande der Inseln abgelösten Sände. Welche erstaunliche Mengen hierbei umgesetzt werden, zeigt ein von Beyer südlich von Westerland auf Sylt angestellter Versuch²⁾. Eine mit der oberen Kante etwa 2 mm tiefer

³⁾ O. Krümmel, Ozeanographie II, 1911, S. 53/54.

⁴⁾ Segelhandbuch, 1906, I, 3, S. 51.

⁵⁾ Jahrbuch des Vereins für Naturkunde an der Unterweser für 1903/04, Bremerhaven 1905. (Mir stand durch die Freundlichkeit des Herrn Schütte ein Separat-Abdruck zur Verfügung.)

⁶⁾ A. Supan, Grundzüge der physischen Erdkunde, 1911, S. 295, 296.

⁷⁾ O. Krümmel, Ozeanographie I, 1907, S. 165. (Oberbaurat Krüger führt diese Erscheinungen auf Wirbelströmungen zurück.)

¹⁾ Vgl. die Admiralitätskarten.

²⁾ A. Beyer, Untersuchungen über Umlagerungen an der Nordseeküste, Diss. Erlangen 1901, S. 24.

als die Sandfläche eingegrabene Zigarrenkiste wurde schon bei schwachem Westwinde von höchstens Stärke 2 durch eine einzige Welle mit grobkörnigem Sand vollständig gefüllt, so daß die Stelle, wo sie eingesenkt war, überhaupt nicht mehr erkannt werden konnte³⁾.

Wo bleibt nun der auf diese Weise von zwei Seiten zusammentransportierte Sand? Daß derselbe weder an den trockenen Strand geworfen, noch in die Tiefe des Meeres zurückgeführt wird, ist in diesem wilden Chaos, in diesem Widerstreit der feindlichen Naturgewalten im allgemeinen ausgeschlossen. Er muß vielmehr hauptsächlich in der Zone bleiben, wo die Begegnung der beiden Widerparten, der auflaufenden Welle und des sogenannten Soogs, infolge der dadurch hervorgerufenen Ruhepause ein Niederschlagen der Suspensionen ermöglicht. An dieser Stelle bildet sich ein Sandrücken mit einem seewärts meistens steil abfallenden Absatz.⁴⁾ Die Lage der Riffe ist naturgemäß bedingt durch die jedesmalige Stärke des Windes und seine Kombination mit den Gezeiten. Dieser Bankreihen tut auch Beyer⁵⁾ Erwähnung, indem er berichtet von einem in einer inkonstanten Entfernung von 200 bis 500 m ziemlich parallel mit der Westküste von Sylt verlaufenden Riff, das etwa 100 m breit und kaum 1½ m höher als die Umgebung sei. Diesem seien weiter seewärts 1 bis 2, nur bei stürmischem Wetter an dem weißen Schaum (Brandung!) erkennbare Riffe vorgelagert. Auch an der ganzen jütischen Küste sollen diese Riffe, meistens in der Dreizahl, wie ihm der Strandvogt versicherte, vorkommen⁶⁾.

Diese Erscheinung rufen jedoch in erster Linie die vertikal auf den Strand auflaufenden Wellen hervor. Treffen sie die Strandlinie unter einem spitzen Winkel, so entsteht eine an der Küste entlangstreichende Strömung, die man deshalb mit dem Namen „Küstenstrom“ bezeichnet. Dieser ist sowohl für die Verfrachtung von Material als auch für den Bau der Sandbänke von außerordentlicher Wichtigkeit. Da die aufgelaufenen Wellen nämlich unter fast demselben Winkel ins Meer zurückrollen, legen auch die Sandmassen denselben Weg zurück. Sie wandern also auf zickzackförmiger Bahn in der Windrichtung vorwärts, die größeren mehr am Boden, die feineren mehr oder weniger in der Schwebel. So beobachtete Beyer⁷⁾ am Sylter Strand, daß eine leere, verkorkte Flasche in 10 Minuten einen Weg von zirka 200 m bei mittelstarkem Winde zurücklegte und bei SSW-Wind und starker Brandung eine größere Planke in ½ Stunde zirka 350 m. Die Transportgeschwindigkeit wächst naturgemäß mit der Stärke des Windes und der Größe des Einfallswinkels des Windes, oder mit anderen Worten: sie ist proportional der Windstärke und der Winkelgröße des Windes.

Die durch den Wind verursachte Sanddrift an der Südküste der Nordsee ist demnach, abgesehen von lokalen Abnormitäten, einzig und allein abhängig von der Richtung und Stärke des Windes. Über die Windhäufigkeit und -stärke gibt nachstehende, dem Segelhandbuch¹⁾ entnommene Tabelle Aufschluß:

Da die Südküste der Nordsee etwa die Richtung von Westsüdwest nach Ostnordost hat, kommen für den Küstenstrom nach Westen die N- und NO-Winde in Betracht, für den nach Osten die W- und NW-Winde. Letztere sind nun ersteren nach Tabelle I um 46 Einheiten überlegen, nach Tabelle II um 2, ein Ergebnis, das zweifelsfrei dartut, daß während des

³⁾ Vgl. die Fortsetzung ebenda.

⁴⁾ Vgl. Hagen, Wasserbau.

⁵⁾ A. Beyer, Untersuchungen über Umlagerungen an der Nordseeküste, Diss. Erlangen 1901, S. 21.

⁶⁾ Vgl. Segelhandbuch 1906, I, 3, S. 51.

⁷⁾ A. Beyer, Untersuchungen über Umlagerungen an der Nordseeküste, Diss. Erlangen 1901, S. 17.

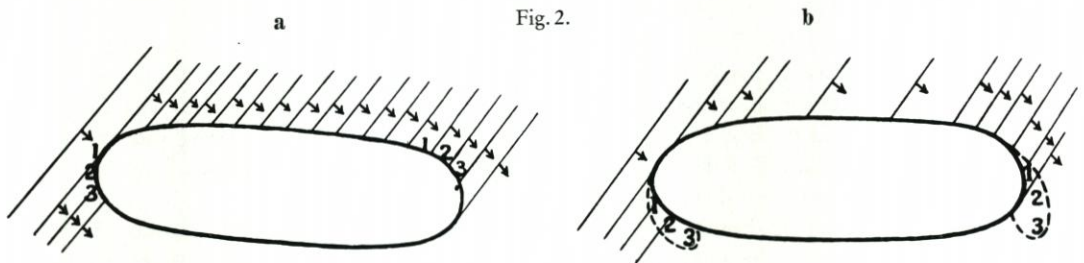
¹⁾ Segelhandbuch 1903, I, 3, S. 21 u. 25.

Häufigkeit der Winde.

Station	Jahreszeit	N	NO	O	SO	S	SW	W	NW
Küste von Emden bis Hamburg. 7 Stationen. 170 Jahrgänge.	Winter	4	8	14	12	12	27	15	8
	Frühling	10	14	13	9	7	17	15	15
	Sommer	9	9	7	8	8	23	18	18
	Herbst	5	8	12	13	12	26	15	9
		28	39	46	42	39	93	63	50
Windstärke (Beaufortskala).									
Borkum		2.9	3.1	3.3	2.5	2.6	3.4	3.2	3.2
Hamburg		2.5	2.6	3.0	2.7	2.9	3.8	3.5	3.2
		5.4	5.7	6.3	5.2	5.5	7.2	6.7	6.4

weitaus größten Teiles des Jahres eine Sedimentverfrachtung aus dem Meere an die Südküste heran und an derselben entlang in östlicher Richtung stattfinden muß. Besonders möge noch hervorgehoben werden, daß die so gefürchteten und unsern Küstengebieten so überaus verhängnisvoll gewordenen Sturmfluten durch die den westlichen Quadranten entstammenden Stürme hervorgerufen wurden. –

Neben den Gezeitenströmen verdanken die eigenartigen, hakenförmigen Anhängsel an den Enden verschiedener Gestadinseln ihre Entstehung dem Küstenstrom. Denken wir uns einmal eine unserer Ostfriesischen Inseln ohne diese Verlängerungen, z. B. Wangeroog. Die aus Nordwesten kommenden Wellen werden (s. Fig. 2), wie die Skizzen, bei denen der Übersichtlichkeit



halber die Einzelvorgänge (z. B. das Herumschwenken der Wellen in paralleler Richtung zum Strande) nicht eingezeichnet sind, andeuten, an der NW-Ecke, wo der Anprall ein senkrechter ist, geteilt; der eine Teil eilt unter schieferm Winkel an der Westküste entlang, der andere an der Nordküste. Dabei werden die Sandteile, die wir mit 1, 2, 3 bezeichnen wollen, am Strande entlang und über das Ende der Insel hinaus verfrachtet. Da am südwestlichen Ende relative Ruhe herrscht, lassen sich die Körnchen hier im Stromschatten nieder, wodurch diese Ecke nach und nach eine nasenförmige Spitze erhält. Derselbe Vorgang spielt sich am Ostende ab, jedoch mit dem Unterschiede, daß, während die W- und NW-Seite ständig starken Angriffen ausgesetzt ist, der östliche Teil einer Anlandung neuer Massen sich zu erfreuen hat. Der Vorsprung im Südwesten wird also zum Teil auf Kosten des Weststrandes, der im Südosten

zum Teil durch Abnagung des Nordstrandes gebildet, Vorgänge, die durch den Flutstrom intensiv unterstützt werden. Wangeroo, Juist und das Nordende von Sylt sind besonders typische Beispiele dieser Meerestätigkeit.

Jene Vorgänge mußten und müssen naturgemäß eine Verfrachtung der Inseln in OSO-Richtung, sowie eine Verlegung der Seegaten nach Osten zur Folge haben. –

Die Sanddrift wird unterbrochen durch die Flüsse, in die der an der Küste entlang verfrachtete Sand schließlich hineingestoßen wird, wo er zunächst an der Böschung hängen bleibt. Der Flutstrom, der am rechten Ufer, in der Richtung des Flutstromes betrachtet, große Energie erzeugt¹⁾, hobelt den Sand von der Böschung ab und wirft ihn in das Flußbett, von wo ab er dann zunächst dem Einfluß der Gezeitenströme und Wellen verfallen ist, bis er endlich in den Staugebieten des äußeren Mündungsmundes vorerst zur Ruhe gelangt und Material zum Bau der Sandbänke liefert. –

Wir haben also gefunden, daß die Wellen teils aus der Tiefe des Meeres, teils von den der Abrasion unterworfenen Gestaden Sandmassen zum Bau der Bänke herbeitransportieren. –

Die Gezeitenströmungen.

Die Nordsee, die keine selbständige Flutwelle besitzt, empfängt zwei Wellen aus dem Atlantischen Ozean, die eine durch den Kanal, die Kanalwelle genannt, die andere, eine Beugungswelle von Norden her um Schottland herum, die wir die Shetland-Welle nennen können. Diese, die durch drei Tore, nördlich von den Shetland-Inseln, südlich von ihnen und zwischen den Orkney-Inseln und Schottland in die Nordsee eintritt, dringt sowohl nach Skandinavien und in der norwegischen Rinne nach Süden ins Skagerrak vor, als auch in der tiefen Mulde an der Ostküste Großbritanniens nach Süden. Von ihr zweigt sich nach Osten eine Flutwelle ab, teils über die Doggerbank hinweg, teils durch den Silver Pit, einen schmalen tiefen Kanal südlich von ihr. Diese wird bald einer großen Verbreiterung und Verflachung unterworfen, so daß sie sowohl auf Schleswig-Holstein zu, als auch als Hauptzweig in südlicher und südöstlicher Richtung bogenförmig vorwärts schreitet. Die ursprüngliche Welle rückt an Ost-England hin nach Süden weiter und schließlich durch die „Tiefe Rinne“. Bei diesem Vordringen auf die holländische Küste zu wird sie von der Kanalwelle, die auch die Themse bestreicht, abgefangen und nach Osten fortgerissen. Letztere beherrscht den ganzen südlichen Teil der Nordsee in Verbindung mit der von der Doggerbank vordringenden Welle, die in der Streichrichtung des 54. Breitengrades wegen der Ausdehnungsmöglichkeit in tiefem, breitem Wasser den Charakter einer stehenden Welle aufweist und das Übergewicht über die Kanalwelle erhält. Wenn also Ost-England Hochwasser hat, ist an der schleswig-holsteinischen Küste Niedrigwasser; sechs Stunden läuft der Ebbestrom in westlicher, sechs Stunden der Flutstrom in östlicher Richtung. Bis dahin, wo die Kanalwelle die Direktion hat, dürfte der Strom eine O-W-Richtung haben; sobald aber die aus der Silberrinne und über die Doggerbank bogenförmig vordringende Welle vorherrschend wird, geht die Richtung in eine ost-südöstliche über, die sich schon vor der Emsmündung bemerkbar macht.²⁾ In der Helgoländer Bucht hat nach K r ü m m e l³⁾ die Welle der Silberrinne bis 55½° die Führung. In der

¹⁾ Siehe folgenden Abschnitt.

²⁾ O. K r ü m m e l, Ozeanographie II, 1911, S. 355.

³⁾ O. K r ü m m e l, Ozeanographie II, 1911, S. 354.

Höhe von Sylt nimmt der Flutstrom die Richtung von Süden nach Norden, der Ebbestrom umgekehrt. Nördlich von Horns Riff scheinen die Gezeiten auf ein Minimum beschränkt, wenn nicht ganz zu erlöschen.⁴⁾

Nun sind aber die Gezeitenscheinungen in der Nordsee nicht so einfach und übersichtlich, wie die obigen Ausführungen glauben machen könnten. Die Nordseebucht gehört in dieser Beziehung zu den kompliziertesten aller Meere einerseits wegen der Konfiguration des Meeresbodens, der starken Küstengliederung und des busenartigen Charakters, andererseits aber auch hauptsächlich deswegen, weil wir hier mit zwei, ja, wenn wir die nördliche nach der Zahl der Eintrittstore in drei zerlegen wollen, mit vier Flutwellen zu rechnen haben. Das führt in mancher Beziehung zu bis heute noch nicht völlig entwirrten Komplikationen, wie die von Whewell entworfene und noch deutlicher die Krümmelsche Karte angeben¹⁾. Dabei hat dieser, wie er erläuternd zu derselben, die er als einen Versuch für das hieraus entstehende Gewebe der verschiedenen Flutwellen bezeichnet, bemerkt, die Stundenlinien der Nordmeewelle nur bis 10^h, die aus der norwegischen Rinne kommenden Teile der Shetland-Welle nur bis 4^h und die reflektierten Wellen gar nicht dargestellt, um ein unentwirrbares Knäuel zu vermeiden. Die Karte zeigt eine Unzahl von Interferenzen.

Aus obigen Ausführungen sowie aus den Karten von Whewell und Krümmel und aus dem „Atlas der Gezeiten und Gezeitenströme“ geht hervor, daß die Richtung des Flutstromes zu der unserer Küste einer etwaigen Sandverfrachtung aus der Tiefe des Meeres eine durchaus günstige ist; denn ersterer streicht auf dem 54. Breitengrade bis 7,5° O-Lg. ungefähr nach Ost-südosten²⁾, während letztere etwa von West-südwesten nach Ost-nordosten verläuft, so daß sie sich unter einem spitzen Winkel treffen. –

Dazu kommt, daß der Einfluß der Winde auf den Flutstrom ein ausgesprochen günstiger ist. Nach den Angaben des Segelhandbuchs³⁾ verursachen die südwestlich durch Westen bis nordnordwestlich wehenden Winde, namentlich wenn sie von großer Stärke sind und längere Zeit geherrscht haben, eine Ablenkung, und zwar am bedeutendsten der SW- und der NNW-Wind, ersterer, indem er den Flutstrom von der Küste abhält und den Ebbestrom nach Norden hin drängt, letzterer durch Herumbiegen des Flutstromes an die Küste und des Ebbestromes nach Norden, ein Umstand, der um so höher einzuschätzen ist, als die W- und NNW-Winde – die SW-Winde spielen als ablandige keine so große Rolle – in bezug auf Häufigkeit und Stärke sich des Regiments erfreuen⁴⁾. Auch hat die Erfahrung gelehrt, daß die aus Südosten durch Osten bis Nordosten wehenden Winde eine Ablenkung bewirken⁵⁾, wobei die NO- und auch noch O-Winde den Flutstrom nach Süden, den Ebbestrom nach Westen drehen.

Aber nicht allein ablenkend, auch hinsichtlich der Geschwindigkeit der Gezeitenströmungen und der Dauer der Gezeiten macht sich der Einfluß der Winde geltend. Das gilt in erster Linie von den W- bis NNW-Winden, weil sie, als Einheit genommen, die häufigsten und stärksten sind. So wurden bei der Schwarzen Tonne 5 im Wangerooger Fahrwasser, wo bei normalen Verhältnissen eine Geschwindigkeit von 1,3 bis 2,5 sm für den

⁴⁾ Vgl. Atlas der Gezeiten und Gezeitenströme für das Gebiet der Nordsee. Herausgegeben von der Deutschen Seewarte 1905.

¹⁾ O. Krümmel, Die Deutschen Meere im Rahmen der internationalen Meeresforschung. Veröffentlichung des Inst. f. Meereskunde, Heft 6, 1904, S. 18 u. 20.

²⁾ Segelhandbuch 1906, I, 3, S. 81.

³⁾ Segelhandbuch 1906, I, 3, S. 80.

⁴⁾ Siehe Windtabellen S. 16.

⁵⁾ Segelhandbuch 1906, I, 3, S. 81.

Flut- und 1,2 bis 2,5 sm für den Ebbestrom herrscht, bei W-Winden mit der Stärke 8 bis 11 für den Flutstrom 5,5 sm und bei längeren O-Winden mit der Stärke 4 bis 5 für den Ebbestrom 3,9 sm gemessen⁶⁾, ebenso an der Wesermündung, wo sonst die mittlere Geschwindigkeit für den Flutstrom 1,2 bis 1,7 sm und für den Ebbestrom 1,2 bis 1,6 sm beträgt, bei NW-Wind ein Maximum von 3 sm. An der Küste ist bei Sturmfluten oft kaum ein Fallendwasser bemerkbar und der Wasserstau so gewaltig, daß selbst die höchsten Deiche, bei deren Bau doch angenommene abnormste Verhältnisse die Höhe bestimmen, keine absolute Sicherheit bieten.

Wir sehen also, daß bei dem Übergewicht der westlichen Winde der Einfluß derselben bezüglich einer etwaigen Sandverfrachtung seitens des Flutstromes aus See an unsere Küste ein ausgesprochen günstiger ist. –

Wirken aber überhaupt die Gezeitenströme stoffumsetzend und erodierend, oder mit anderen Worten erstreckt sich die ihnen innewohnende Kraft bis in die Sandregion des Meeres hinab? Theoretisch hat man die Gezeitenäußerungen in folgende Formeln gefaßt:

1. Die Stärke oder die „Fahrt“ ist dem Tidenhub proportional, ferner ist sie umgekehrt proportional der Wurzel aus der Wassertiefe. Die Wasserteilchen vom Niveau bis zum Boden schieben sich gleichzeitig, jedoch nicht ganz mit derselben Geschwindigkeit¹⁾ hin und her.

2. Die Flutgröße ist nach Airy umgekehrt proportional der 4. Wurzel aus der Wassertiefe und auch abhängig von der Breite des gegebenen Bettes, und zwar ist sie umgekehrt proportional der Quadratwurzel aus der Breite²⁾.

Die Folgerung, die sich für die Praxis daraus ergibt, ist, daß in Trichterbuchten, die sich nach hinten zu verflachen oder spitz zulaufen, die Gezeitenströme am wirkungsvollsten sind.

So haben die Engen der Fundy-Bai, die eine Tiefe bis zu 110 m aufweisen, durchweg reinen Felsgrund³⁾, und im Südarne, in der Enge von Parrsborough, ist der Felsboden in mehr als 200 m Tiefe von allem Grus reingefegt⁴⁾. Auch in der Umgegend der im Englischen Kanal liegenden beiden Felsrücken, des Varne und des Ridge oder Colbart, besteht der Grund vielfach aus Stein- oder Felsgrund. Ebenso befinden sich in den Gewässern West-Schottlands tiefe Rinnen von 150 bis 200 m inmitten sandiger Flächen eingefurcht; der Boden und die steilen Flanken der Rinne bestehen aus unbedeckten Felsen. Ja, bei den Kanarischen Inseln hat man gelegentlich der Legung von Tiefseekabeln Kuppen gefunden, die, bis zu 1800 und 2000 m aus 4000 m Tiefe aufragend, von Globigerinenschlamm reingeputzt waren⁵⁾. Oder erinnern wir uns an das Borkum Riff, wo das Senkblei des Seemanns an manchen Stellen vergeblich Grundproben heraufzubefördern sucht. Alle diese Erscheinungen werden auf die erodierende Tätigkeit der Gezeitenströme zurückgeführt. –

Steht somit zweifelsfrei fest, daß der Gezeitenstrom ein sedimentverfrachtender Faktor ist, so fragt es sich, ob und in welcher Weise dieser Vorgang an unserer Küste sich abspielt. Zu diesem Zwecke setzen wir die hiesigen Verhältnisse mit denen jener Örtlichkeiten in Parallele. Dabei finden wir zunächst, daß die Nordsee selbst ein golfartiges Meer ist mit sanft ansteigendem Boden zur deutschen Küste hin. Das steigende Terrain veranlaßt zunächst einen größeren Tidenhub, der nach Airy umgekehrt proportio-

⁶⁾ Segelhandbuch 1906, I, 3, S. 353.

¹⁾ Vgl. S. 22.

²⁾ Wir folgen dabei zum Teil der wertvollen K r ü m m e l schen Abhandlung in Petermanns Mitteilungen 1889, S. 129.

³⁾ Petermanns Mitteilungen 1889, S. 129 ff.

⁴⁾ A. S u p a n, Grundzüge der physischen Erdkunde, 1911, S. 594.

⁵⁾ O. K r ü m m e l, Ozeanographie II, 1911, S. 285.

nal ist der 4. Wurzel aus der Wassertiefe, andererseits aber auch eine Verringerung der Geschwindigkeit, die beispielsweise in der tiefen norwegischen Rinne 120 sm, über der seichten Nordseebank aber nur 60 bis 70 sm beträgt⁶⁾; allein der Meeresboden dürfte dabei um so energischer angegriffen werden, analog einer am Bergeshang sich hinaufwindenden Straße, auf der ein Wagen leicht und ohne merkliche Spuren zu hinterlassen, hinabfährt, während der hinauffahrende seine Räder tief in den Boden eindrückt (s. S. 18). Diese Beobachtung kann man auf dem sanft ansteigenden Watt machen, wo die vordere Grenzlinie der ankommenden Flutwelle die Sedimentpartikelchen vom Wattboden aufwirbeln läßt. – Bei den Kleinformen, den Flüssen mit ihren verwickelten Ästuariensystemen, die größtenteils submariner Art sind, den Gaten, Baljen, Prielen, kommt noch zu obigem Moment des steigenden Terrains ein anderer überaus wichtiger hinzu: die seitliche Einengung der Welle, die sowohl eine Vergrößerung der Erosionskraft, als auch eine weitere Erhöhung der Flutwelle zur Folge hat, deren Höhe ja umgekehrt proportional ist der Quadratwurzel aus der Breite.

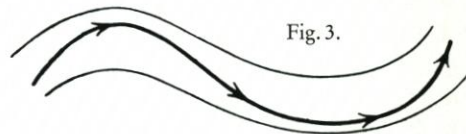
Wir sehen also, daß die Konfiguration des Meeresbodens für den Sandtransport aus dem Becken an die Küste durchaus günstig ist. –

Schon bei oberflächlicher Betrachtung der Seekarte muß uns nun dreierlei auffallen¹⁾:

1. daß die sämtlichen von Süden her in die Nordsee einmündenden Flüsse ihren Mündungsmund nach Westen, also sich dem Flutstrom entgegen richten;
2. daß in vielen Fällen die tiefsten und für die Schifffahrt fast allein in Betracht kommenden Fahrrinnen an der westlichen Seite des Mündungsmundes sich befinden.
3. und daß der Ostabfall der Ufer dieser Gebiete und Sände steil, die Westseite dahingegen flach ist²⁾.

Was kann die Ursache dieser Erscheinungen sein?

Merkwürdigerweise fließt nun in der Elbe der Flutstrom am Südufer stärker als am Nordufer, der Ebbestrom umgekehrt, was besonders für die Reede von Cuxhaven hervorgehoben wird. Vom zweiten Feuerschiff ab hat die Ebbestromung sogar eine NNW-Richtung, häufig mit einer Geschwindigkeit von 5 sm, und zwar ist sie hier an der Nordseite stets bedeutend stärker als an der Südseite. „Eine solche verschiedene Lage der Linien größter Stromgeschwindigkeit oder des ‚Stromstrichs‘ muß als regelwidrig bezeichnet werden, sobald man sie mit den allgemein für fließendes Wasser in gekrümmten Flußbetten geltenden Gesetzen vergleicht.“ Denn besonders in den Mäanderbetten ist der Stromstrich stärker gewunden als das Flußbett; er macht schlangenartige Windungen, Serpentinien, wie nebenstehende Zeichnung andeutet. Dabei ist stets das konkave Ufer seinen Angriffen mehr ausgesetzt



als das konvexe. Solches müßte nun auch für die Elbe zutreffen, allein der Flutstrom hält sich dessenungeachtet beharrlich am Süd-, der Ebbestrom am Nordufer. Als Ursache müssen wir nach Krümmels Ansicht die Erdrotation ansehen, durch die jeder Strom auf der nördlichen Hemisphäre nach rechts abgelenkt wird, ein Gesetz, das zuerst von v. Baer

⁶⁾ O. Krümmel, Die Deutschen Meere usw. In „Institut für Meereskunde“, Heft 6, 1904, S. 19.

¹⁾ Siehe Fußnote S. 293²⁾.

²⁾ Vgl. Segelhandbuch 1906, I, 3, S. 261.

aufgestellt wurde. Durch dieses Rechtsdrängen wird, wie wir sahen (S. 18), neue Energie ausgelöst, was sich wegen der Überlegenheit des Flutstromes über den Ebbestrom (vgl. S. 24) in dem stärkeren Angriff des rechtsseitigen Uferhanges und des Bodenbelags bemerkbar machen muß, wodurch sich das Herumbiegen des Mündungsmundes nach Westen, der Steilabfall und die tiefe Rinne am Westufer erklären läßt. Freilich ist man in Fachkreisen über die Einwirkung der Erdrotation auf die Flußmündungen geteilter Meinung; man glaubt, daß der Einfluß weniger der Erdrotation als vielmehr jenen Momenten, die – wie Unebenheiten und Verschiedenheiten in der Härte der Unterlagen – die Geschwindigkeit und Richtung der Bewegung vorzugsweise bedingen, zuzuschreiben sei³⁾. Ob für unsere Küste vielleicht nicht auch noch andere Ursachen, wie die überaus verwickelten Gezeitenverhältnisse⁴⁾ mitspielen? So scheint noch ein Umstand, der für die Steilheit des Ostabfalls der Flußufer und Bänke als Ursache mit in Frage kommen könnte, besonderer Erwähnung wert. Auffälligerweise ist nämlich sowohl bei der Jade als bei der Weser und Elbe die Böschung gerade an den Stellen eine sehr steile, wo westwärts sich Watten und Riffe anschließen: so das Watt zwischen Wangeroog und der Küste von Jeverland bei der Jade, die Alte Mellum und die Mellum Plate bei der Weser und das Scharhörn Riff und das Neuwerker Watt bei der Elbe. Während nun bei Beginn der Flut der Flutstrom den Eintritt in die Flüsse um jene Watten und Riffe herum nehmen muß, fallen ihm später, wenn die Watten und Riffe besetzt sind, die Wassermassen, von Westen her über diese hinwegstreichend, in die Flanke, wodurch die oberen Partien des Hauptteils des Flutstromes in östlicher Richtung mit fortgerissen werden. Hierdurch wird ein Kompensationsstrom erzeugt, der von unten her an der Böschung nach oben gesogen wird und der infolgedessen letztere stark angreifen und ihr einen steilen Abfall geben muß. Infolge des Vordringens des Hauptteils des Flutstromes flußaufwärts nimmt der Kompensationsstrom eine schraubenartige Bewegung an. – In ähnlicher, wenn auch komplizierter Weise dürfte sich der Vorgang bei den Bänken abspielen, wo jedoch die Steilheit noch durch ein anderes Moment begünstigt wird: Die Sandwanderung, worauf wir bei dem Kapitel: „Wanderung der Bänke“ noch zurückkommen werden. – Diesem Kompensationsstrom scheint meines Erachtens neben der Erdrotation und etwaigen andern Ursachen eine hervorragende Rolle bezüglich oben genannter Charakteristika zuzufallen.

Fassen wir zusammen:

Als für die Vergrößerung der Erosionskraft, sowie für die Sandverfrachtung landwärts ausgesprochen günstige Momente haben wir betreffs unserer Küste kennen gelernt:

1. Die schräge Richtung des Flutstromes zur Küste,
2. die günstige Einwirkung der Winde,
3. die günstige Konfiguration des Meeresbodens und der Küste (steigendes Terrain, seitliche Einengung),
4. die rechtsseitig sich steigernde Kraftäußerung des Flutstromes, hervorgerufen durch die Erdrotation, den Kompensationsstrom und noch etwaige andere Ursachen. –

Auf die Erosion und den Transport des Sandes wirken jedoch drei Umstände höchst nachteilig ein:

- a) Daß die Gezeitenströme in der Fundy-Bai so gewaltige Werte zeitigen, ist außer den berührten Gründen zum nicht geringen Teil darauf zurückzuführen, daß wir es dort mit nur einer Flutwelle zu tun haben, die steigend und fallend dieselbe Bahn durchmißt. Die

³⁾ A. S u p a n, Grundzüge der physischen Erdkunde, 1911, S. 22, 709.

⁴⁾ Vgl. O. K r ü m m e l, Die Deutschen Meere usw. In „Institut für Meereskunde“, Heft 6, 1904.

Nordsee dahingegen hat, wenn wir so rechnen wollen, 4 g e s o n d e r t e Flutwellen mit unzähligen Interferenzen und Reflektionen¹⁾, wodurch ihre Richtung keine einheitliche bleibt, ihre Kraft zersplittert und ihre Intensität höchst nachteilig beeinflusst wird.

b) Man sollte nun meinen, daß für einen etwaigen Sandtransport das ungleich schwerere und tragkräftigere, s a l z i g e Meerwasser von Vorteil sei. Aber Experimente haben gerade das Gegenteil ergeben. Denn trotz der Beimengung von Salzen, die sein spezifisches Gewicht wesentlich erhöhen, besitzt es gleich allen Elektrolyten die überraschende Eigenschaft, mechanisch beigemengte, schwebende Sedimente rasch auszuscheiden und sich zu klären, wovon sich jeder leicht überzeugen kann, der in ein mit Süßwasser gefülltes Probierglas und in ein anderes mit Salzwasserfüllung gleiche Gewichtsteile Sedimente schüttet: während ersteres die Trübung längere Zeit beibehält, nimmt letzteres in kürzester Zeit die schönste Klarheit an.

Diese Ausscheidungsfähigkeit ist dem jeweiligen Prozentsatz des Salzbestandes proportional. Derselbe ist in den verschiedenen Jahreszeiten, wie in den Tiefen sehr veränderungsvoll, wie nachstehende drei Tabellen zeigen²⁾.

Tabelle I enthält für das Oberflächenwasser die nach etwa 20jährigen Beobachtungen der Kieler Kommission zur Erforschung deutscher Meere berechneten Monatsmittel des Salzgehalts. Auffälligerweise hat das Oberflächenwasser bei Helgoland und dem Weser-Feuerschiff den größten Prozentsatz an Salz und damit verminderte Transportkraft, gerade in den Wintermonaten, in denen die Elbe und Weser den größten Wasserreichtum haben, eine Abnormität, die wahrscheinlich durch die reichlichere Wasserzufuhr aus dem Salzquellengebiet, dem Atlantischen Ozean, durch die im Winter stärkeren W-Winde verursacht wird³⁾.

Tabelle II gibt den Salzgehalt für die verschiedenen Tiefen im „zentralen Teil des Skagerraks“ an, wo die Verringerung der Transportkraft am 12. September 1893 größer war als am 4. Februar 1890. Besonders charakteristisch ist bei beiden Reihen die Abnahme der Tragkraft nach der Tiefe zu.

Tabelle III zeigt die Einwirkung der Winde auf den Salzgehalt von der Oberfläche bis in 38 m Tiefe für das Jahr 1890 (1. bis 8. Februar und 13. bis 23. Februar). Wir sehen, daß bei SW- bis W-Winden der Salzgehalt in allen Tiefen zu-, die Transportkraft damit aber abnimmt. SSO- bis S-Winde erzielen bis 23 m Tiefe geringere Salzmenge, in 38 m jedoch größere als die W-Winde. Als Grund gibt das Segelhandbuch¹⁾ an, daß die SW- bis W-Winde einerseits den Oberflächenstrom des süßen Ostseewassers zurückhalten, andererseits aber neue salzreiche Massen aus dem Atlantischen Ozean hereintreiben; deshalb auch der geringe Unterschied von 1,1‰. Bei SSO- bis S-Winden ist das Verhältnis umgekehrt, wodurch die bedeutende Differenz von 8‰ erzielt wird, ein auffallender Kontrast, der wohl in der Hauptsache mit darauf zurückzuführen ist, daß das Abtriebwasser der Oberfläche nach Westen einen Bodenstrom aus dem Atlantischen Ozean nach Osten hervorruft²⁾.

Ferner lehren die Karten: „Verteilung des Salzgehalts in Oberflächenwasser“³⁾, daß der Prozentsatz an Salz nach der hohen See hin zunimmt.

¹⁾ Siehe S. 291 u. 292.

²⁾ Segelhandbuch 1903, I, 1, S. 74 ff.

³⁾ B e m e r k u n g: Die Menge betrug für November bis April mehr als das Doppelte derjenigen für Mai bis Oktober: 1:0,45.

¹⁾ Segelhandbuch 1903, I, 1, S. 77.

²⁾ Einen andern Punkt: „Welchen Einfluß die Temperatur des Wassers auf das spezifische Gewicht desselben ausübt“, möchte ich hier übergehen und einer besonderen Studie vorbehalten.

³⁾ Nachtrag zum Segelhandbuch 1903, I, 1 (letzte Seite).

Tabelle I. Pro Tausend.

	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Jahr
Helgoland	33.4	33.3	32.6	32.2	32.0	32.0	32.2	32.4	32.8	33.0	33.5	33.1	32.8
Weser-Feuerschiff	33.1	33.1	32.9	32.9	32.8	32.4	32.4	32.2	32.2	32.5	33.0	33.3	32.8

Monatsmittel des Salzgehaltes nach etwa 20jährigen Beobachtungen der „Kieler Kommission zur Erforschung deutscher Meere“.

Tabelle II. Pro Tausend.

Tiefe in Meter	0	5	10	20	30	40	50	60	80	100	Größter Unterschied
4. Februar 1890	32.3	—	32.4	33.3	34.5	34.8	—	35.0	35.0	35.0	2.7
12. September 1893	29.8	29.8	34.3	34.8	34.9	35.1	35.1	35.1	35.2	35.2	5.4

Salzgehalt des Tiefenwassers für den zentralen Teil des Skagerraks.

Tabelle III.

	Wind	Salzgehalt in ‰			
		Oberfläche	Tiefe 15 m	Tiefe 23 m	Tiefe 38 m
1. bis 8. Februar 1890	SW bis W	33.2	33.5	33.8	34.3
13. bis 23. Februar 1890	SSO bis S	26.7	30.1	32.6	34.7

Salzgehalt des Oberflächen- und Tiefenwassers bei westlichen und südlichen Winden beim Feuerschiff Skagen.

Die Ergebnisse unserer Erörterung sind also folgende:

Die Transportfähigkeit des Wassers erleidet Einbuße:

1. in den Wintermonaten, 2. mit zunehmender Tiefe, 3. bei W-Winden, 4. nach der hohen See zu.

Die drei ersten Punkte sind dabei nicht gering einzuschätzen, da die Tragkraft einerseits gerade in der Sandregion, andererseits bei Westwinden, die besonders zur Winterzeit herrschen und dem Sandtransport vorzugsweise förderlich sind, am geringsten ist.

c) Für die Sandverfrachtung aus dem Meere ist auch die Frage von Wichtigkeit, ob die Geschwindigkeit nach der Tiefe zu dieselbe bleibt. Die in den Fluttabelle¹⁾ angegebenen Werte beziehen sich sämtlich auf die Oberfläche. Für die Tiefe liegen jedoch, wie Krümmel²⁾, sehr wenige zuverlässige Messungen vor. Wir müssen uns deshalb mit folgender dürftigen Zusammenstellung³⁾ begnügen, bei der wir gleich den Elbestrom, auf den wir doch noch zurückkommen müssen, der Vollständigkeit halber mit berücksichtigen. Die

¹⁾ Siehe die Segelhandbücher.

²⁾ O. Krümmel, Ozeanographie II, 1911, S. 284.

³⁾ Petermanns Mitteilungen 1889, S. 130. (Vgl. „Annal. d. Hydr. usw.“ 1879, S. 210.)

Stromgeschwindigkeit in cm/sek.

Station	Flut		Ebbe		Abnahme für	
	an der Oberfläche	in ca. 8 m Tiefe (2 bis 5½ m über dem Boden)	an der Oberfläche	in circa 8 m Tiefe	Flut	Ebbe
1. Feuerschiff Genius Bank	111	99	117	92	10.8%	21.4%
	Schicht bis 10 m	In 70 cm Tiefe, 3 m über dem Boden				
2. 55° 58' N-Breite } 3° 20' O-Länge }	Max. 15.9 cm Max. 20.4 cm Max. 20.1 cm	Mittel 18.8 cm	Max. 8.9 cm Max. 13.2 cm Max. 10.2 cm	Mittel 10.8 cm		42.9%

Bemerkung: Die 2. Reihe entstammt der Schrift: „Bulletin trimestril etc.“ 1906/7, B, p. 37 u. 1905/6, B, p. 114.

Geschwindigkeit beträgt also nach der 1. Reihe an der Oberfläche 111 cm/sec, in der Nähe des Bodens 99 cm/sec, bei der 2. Reihe in den oberen Schichten 18,8 cm/sec, in der Tiefe von 70 m 10,8 cm/sec, was für erstere einen Verlust von 10,8 %, für letztere einen von 42,9 % bedeutet. Es ergibt sich also, daß die Geschwindigkeit des Flutstromes mit zunehmender Meerestiefe abnimmt, ein Zeichen dafür, daß die Transportkraft nach der Tiefe zu sich verringert. Der Grund dürfte wahrscheinlich in der Reibung der unteren Wasserteilchen am Boden und in der Zunahme des Salzwassergehalts nach unten hin zu suchen sein. –

Von den drei gefundenen transportkraftlähmenden Momenten, a) Verzettelung der Flutwelle, b) Salzgehalt des Wassers, c) Verminderung der Geschwindigkeit in der Tiefe, fallen die beiden letzten um so schwerer ins Gewicht, als sie mit den Umlagerungen am Meeresboden, im Revier der Sände, in Beziehung stehen. Dennoch dürfte der Einfluß derselben nur eine Verminderung der Transportkraft, nicht eine völlige Unterbindung der Sandverfrachtung aus See bewerkstelligen, wie schon ein oberflächlicher Vergleich dieser ungünstigen Momente mit den günstigen (S. 169) vermuten läßt.

Die Annahme einer Sedimentverfrachtung seitens des Flutstroms an unsere Küste dürfte durch folgende Tabelle⁴⁾ Bestätigung finden. Sie zeigt eine ständige Abnahme des schwereren Detritus weseraufwärts, ein Beweis dafür, daß der Flußstrom mehr Sandmassen heranschleppt, als er im engen Flußrevier fortzuschleppen imstande ist. Die landwärts sich zeigende Zunahme der tonhaltigen Teile dürfte in der Hauptsache in dem Umstande ihren Grund haben, daß wir uns hier im „Laboratorium“ der Brackwasserzone befinden. (Vgl. S. 150 bis 154.)

Schließlich möge auch hingewiesen sein auf K r ü m m e l s Urteil¹⁾: „Eine Tideströmung wird am Meeresboden wenigstens im Bereiche der Schelfe eine bedeutende transportierende Kraft besitzen, und, wo sie durch hohen Hub oder seitliche Einengung beschleunigt wird, geradezu ausfurchend auf den Meeresboden einwirken.“

⁴⁾ Aus Schucht, Beitrag zur Geologie der Wesermarschen, 1903, S. 13.

¹⁾ O. K r ü m m e l, Ozeanographie II, 1911, S. 285.

Station	Feinsand Korngröße > 0.05 mm	Tonhaltige Teile Korngröße < 0.05 mm	Station	Feinsand Korngröße > 0.05 mm	Tonhaltige Teile Korngröße < 0.05 mm
1 Drackenburg	11.2	88.8	9 Blexen	60.4	39.6
2 Woltmershausen	12.4	87.6	10 Wremen	18.0	82.0
3 Rade	17.2	82.8	11 Spieka	45.2	54.8
4 Brake	42.0	58.0	12 Döse	91.2	8.8
5 Rechtenfleth	51.6	48.4	13 Langwarden	94.0	6.0
6 Dedesdorf	38.0	62.0	14 Hooksiel	46.8	53.2
7 Nordenham	25.2	74.8	15 Carolinensiel	41.2	58.8
8 Wulsdorf	24.4	75.6	16 Spiekeroog	81.2	18.8

Wir glauben deshalb unser Urteil dahin zusammenfassen zu dürfen, daß die Verfrachtung von Sand seitens des Flutstromes an unsere Küste damit erwiesen ist.



Auf eine nähere Erörterung der Meeresströmungen, die im Gebiete der Nordsee nur als Oberflächenströmungen bekannt sind und die nach den vom dänischen Feuerschiff „Horns Riff“²⁾ vorgenommenen Messungen nur die geringe Geschwindigkeit von 4 sm in 24 Stunden haben (0,085 m/sec), so daß ein Wasserteilchen etwa 60 Tage braucht, um von Borkum Riff bis Hanstholm (NW-Spitze Jütlands) zu gelangen, glauben wir verzichten zu können, zumal da die Verhältnisse der Meeresströmungen noch keineswegs als annähernd aufgeklärt betrachtet werden dürfen.

Beide Agentien, sowohl den Flutstrom als auch die Wellen, haben wir als landwärts sandverfrachtende Faktoren kennen gelernt. Ferner sahen wir, daß auch die Flüsse Sand zur Küste hinabschwemmen. Sollen nun diese Massen zum Bau der Sandbänke Verwendung finden, so ist die erste Vorbedingung, daß sie in der Sandbankzone ansässig und nicht wieder fortgespült werden. Hierfür käme die Ebbestromung in Betracht. Es treten also in den Berührungsgebieten die sandanfrachtenden Agentien und der sandfortspülende Ebbestrom in Gegenwirkung, insbesondere der Flut- und Ebbestrom, eine Erscheinung, die man treffend

²⁾ O. K r ü m m e l, Die Deutschen Meere usw. In „Inst. für Meereskunde“ 1904, S. 13.

als einen über unsere Küste verhängten Belagerungszustand bezeichnet. Es ist also eine Untersuchung darüber notwendig, welchem von beiden die größere Stoßkraft innewohnt.

Beobachtungen haben für den Ebbestrom im allgemeinen eine größere Oberflächengeschwindigkeit festgestellt. Auch beim Genius Bank-Feuerschiff ergaben die Messungen für den Flutstrom 111, für den Ebbestrom 117.

Allein in der Tiefe herrscht ein umgekehrtes Verhältnis: beim Ebbestrom ist in der Nähe der Genius Bank das Verhältnis des Oberflächenstromes zum Bodenstrom 117:92, beim Flutstrom 111:99, oder, in Prozenten ausgedrückt, bedeutet das für ersteren einen Verlust von 21,4, bei letzterem 10,8%. Hiernach steht also der Ebbestrom trotz seiner größeren Oberflächengeschwindigkeit dem Flutstrom in der Tiefe, im Revier der Sedimentversetzungen, bedeutend nach, ein für seine Erosionskraft ungünstiges Moment.

Damit schrumpft auch das an und für sich günstige Moment einer reichlicheren Beimischung von tragkräftigerem Süßwasser, dessen sich der Ebbestrom erfreut, auf ein Minimum zusammen.

Während nun der Flutstrom als kräftiger Grundstrom gleich anfangs in enge Tore eintritt und dadurch größere Werte zeitigt und erst später, wenn seine Hauptarbeit verrichtet ist, durch Bestreichen der Wattflächen Lähmung erfahren dürfte, woran wohl nicht gezweifelt werden kann, wengleich auch bedauerlicherweise Messungen nicht vorliegen, so wird durch die nach der Mündung hin zunehmende Divergenz der Flußufer die Erosions- und Transportkraft des Ebbestromes, da ja durch Einengung größere Bewegungsmomente erzielt werden, gerade in der Zeit seiner Kraftfülle ungünstig beeinflusst.

Da nun ferner der Grad der Ablenkung¹⁾ proportional ist der Stromgeschwindigkeit, müßte – unter der Voraussetzung, daß die Unterlagen einwandfrei sind und die Geschwindigkeit beider Strömungen sowohl an der Oberfläche als auch in der Tiefe überall im allgemeinen obigen Angaben entsprechende Werte haben – dieselbe beim Ebbestrom, der ja an der Oberfläche $\frac{1}{2}$ bis 1 Knoten schneller läuft, erheblicher und dessen Erosionskraft größer sein als beim Flutstrom; aber weil in der Tiefe ein umgekehrtes Verhältnis herrscht, so steht auch in dieser Beziehung der Ebbestrom in der Sandregion dem Flutstrom nach, weshalb wir auch am Ostufer einen überaus flachen, seichten Anstieg, an der westlichen Flußseite eine so intensiv ausgehobelte Furche wahrnehmen.

Obige Ausführungen lassen unschwer die Überlegenheit des Flutstromes erkennen. Einen handgreiflichen Beweis hierfür haben wir in nachstehender Tabelle²⁾, in der die Suspensionen des Flut- und Ebbewassers in Vergleich gestellt werden. Sie zeigt, daß der Schlickgehalt kurz nach Eintritt der Flut sein Maximum erreicht. Von da ab macht sich eine Abnahme bemerkbar, was sich hauptsächlich daraus erklären dürfte, daß das Wasser nach Füllung der tieferen Rinnen beim Ausbreiten über die Watten hier infolge der entstandenen Ruhepause Suspensionen fallen läßt, ein Zustand, der bis zur Mitte der Ebbe andauert. Dann kommt der Ebbestrom nämlich wieder in den Bereich des Bodens und kann mehr Massen aufwirbeln.

Ferner ersieht man, was für uns hier die Hauptsache ist, daß der Flutstrom mehr Sedimente transportiert als die Ebbeströmung. Denn zählen wir, um greifbare Größen zu

¹⁾ Siehe „Petermanns Mitteilungen“ 1889, S. 134.

²⁾ G. Hagen, Wasserbau III, 1, 167. (Hagen entnahm die Proben dem Jadegebiet bei Wilhelmshaven.)

gewinnen, die einzelnen Teile für Flut und für Ebbe zusammen, so ergibt das für erstere an der Oberfläche 86 Teile, 2 m über dem Grunde 122 Teile, für letztere 69 bzw. 77 Teile. Das macht für die Flut ein Plus von 17 bzw. 45 Teilen.

Flutintervall	An der Oberfläche	2 m über dem Grunde	Flutintervall	An der Oberfläche	2 m über dem Grunde
Nach der 1. Stunde der Flut	19 Teile	23 Teile	Nach der 1. Stunde der Ebbe	10 Teile	12 Teile
Nach der 2. Stunde der Flut	19 Teile	26 Teile	Nach der 2. Stunde der Ebbe	10 Teile	12 Teile
Nach der 3. Stunde der Flut	15 Teile	24 Teile	Nach der 3. Stunde der Ebbe	10 Teile	12 Teile
Nach der 4. Stunde der Flut	12 Teile	20 Teile	Nach der 4. Stunde der Ebbe	12 Teile	12 Teile
Nach der 5. Stunde der Flut	11 Teile	16 Teile	Nach der 5. Stunde der Ebbe	13 Teile	13 Teile
Bei Hochwasser	10 Teile	13 Teile	Bei Niedrigwasser	14 Teile	16 Teile
	86 Teile	122 Teile		69 Teile	77 Teile
		Differenz		17 Teile	45 Teile

Auch die Bänke selbst verraten die Überlegenheit des Flutstromes. Charakteristisch ist nämlich, daß, wie Hagen experimentell nachgewiesen hat, ihre flache Böschung stets der Angriffsrichtung der Kraft zugekehrt ist. Dasselbe gewahrt man bei den Inseldünen, ihren durch äolischen Einfluß entstandenen Schwestern. Da nun die Bänke fast ausnahmslos ihre flache Seite dem Flutstrom entgegenneigen, so wage ich daraus herzuleiten: a) daß der Flutstrom der stärkere der beiden Gezeitenströmungen ist, b) daß die Sandbänke von dieser Seite her die Hauptspeisung mit neuem Material empfangen.

Ich glaube deshalb, soweit uns die Unterlagen einen Schluß zulassen, mich dahin zusammenfassen zu dürfen:

Der Flutstrom trägt mehr Sedimente in die Flüsse hinein, als der Ebbestrom fortzuspülen imstande ist.--

Die Folge davon ist, daß sich in den unteren Flußläufen Sandansammlungen bemerkbar machen müssen, und zwar entsprechend dem Gesetz¹⁾, nach dem dort, wo zwei Strömungen zusammenstoßen, infolge der dadurch hervorgerufenen Stauung ein Niederschlagen der Sedimente veranlaßt wird, an der Stelle, wo der Flut- und Ebbestrom sich treffen, und im Kenterungsgebiet, in der Brackwasserzone. Das Kartenbild bestätigt solches. So entstehen die Gezeitenbarren, eine Flutbarre im oberen, eine Ebbebarre im unteren Flußgebiet, von denen erstere, weil in der Zone starker Flußströmung liegend, mehr eingeebnet, verflüchtigt, abwärts gespült wird. Außerdem wird ein großer Teil, namentlich von dem feinen Detritus, dem Schlick, auf den Watten abgelagert; die durch die Gaten zwischen den Inseln eindringenden Flutwellen begegnen sich hinter den Inseln, wo sie ihre Sedimente in bedeutenderem Maße niederschlagen, was an diesen Punkten Bodenerhebungen zur Folge hat, die von den Wattschiffern einfach als „hohe Watten“ bezeichnet werden.

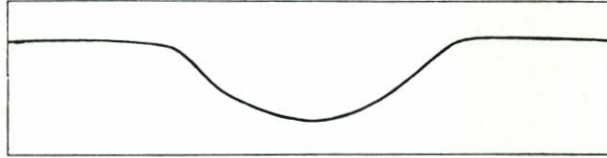
Finden nun aber jene in den Mündungen der Flüsse abgelagerten Sedimente bei der Sandbankbildung Verwendung? Schon ihre Lage in den Barrenzonen läßt solches vermuten. Denn die Barre ist hier nicht eine im großen und ganzen flach gewölbte Bildung, wie beispielsweise die den Gaten der Ostfriesischen Inseln vorgelagerten Barren, die infolge der in den Engen förmlich zurückschießenden Ebbewasser ausgewellt sind, sondern sie ist durch die Meeresagentien in viele Teile zerschnitten, in

¹⁾ Siehe S. 160.

Einzelhebungen von typisch ausgeprägter Gestalt, die man Bänke nennt, die also als aus dem Barrenmaterial aufgeschichtete Bodenerhebungen zu verstehen sind. –

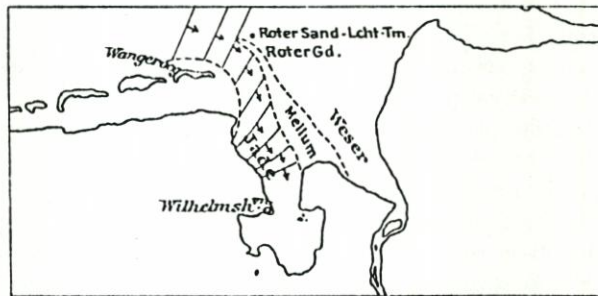
Auf welche Weise haben wir uns die Bildung der Bänke etwa vorzustellen? Denken wir uns einmal eine von Bänken freie Flußmündung, die aber wegen reichlicher Sandzufuhr zur Bankbildung geneigt ist, beispielsweise die Jade-Mündung, in solcher Verfassung. Fig. 5 a. Das sandige Bett sei leicht konkav ausgewellt, die Flanken

Fig. 5 a.



seien sanft geneigt. Der Flutstrom setzt ein. Er hat eine südöstliche Richtung. Auf der Linie Wangeroog–Roter Sand-Leuchtturm begegnet er dem Ebbestrom, wodurch ein Teil der Sedimente sich niederschlägt. Nordöstlich von Wangeroog tritt er in die Jade ein. Die Stütze, die sein rechter Flügel bisher am Gestadesockel hatte, hört hier plötzlich auf, und die Flankenwasser gleiten in die Jade hinein, und zwar dürften dieselben sich anfangs infolge der ihnen innewohnenden größeren Kraftfülle rechtsseitig – von der Flutströmung gerechnet – eines Vorsprungs erfreuen vor den Partien links. Bald jedoch dürfte sich die schon früher eingesetzte Richtungsänderung nach S hin vollzogen haben. Fig. 5 b gibt diesen Moment wieder. Infolge der größeren Kraftentfaltung an der rechten Seite – ob und wieviel außer der

Fig. 5 b.



Ablenkung seitens der Erdrotation und dem Kompensationsstrom noch vielleicht ein durch die östlich gelegenen Bänke, vor denen sich die anfangs OSO gerichteten Flutmassen stoßen, hervorgerufen, mehr in den unteren Partien sich vollziehender Rückstau dazu beiträgt, muß einer genauen Untersuchung an Ort und Stelle vorbehalten bleiben – wird das westliche Ufer und das Flußbett an dieser Stelle stark angegriffen, jenem infolge Abrasion einen steileren Abfall verleihend, dieses in seiner Strichlinie intensiv ausfurchend, wie Fig. 5 c andeutet. Die hierdurch auf den Lauf gebrachten Sandmassen, die noch durch das Abfangen des mit dem Flußwasser flußabwärts treibenden Sandes und Schlammes Zuwachs erhalten, werden von der am rechten Hange erhöhten Erosionskraft folgerichtig nach links gestoßen, ein Vorgang, der sich analog der Hagen'schen Sandwanderungstheorie vollziehen dürfte. Auf diese Weise müssen sich längliche Sandrillen bilden mit flachem West- und steilerem Osthang, wie Fig. 5 d

Fig. 5 c.

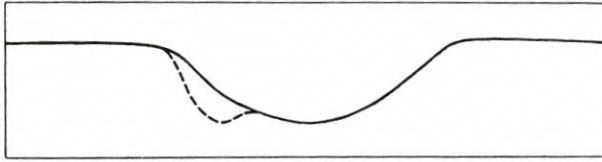
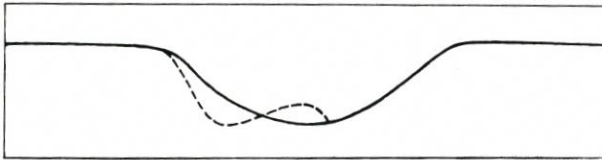
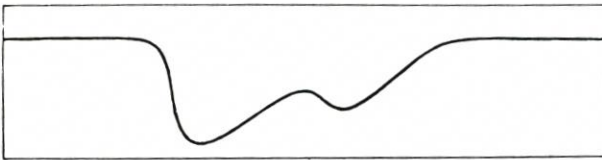


Fig. 5 d.



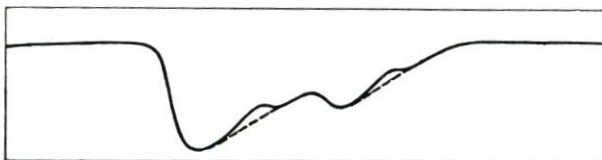
zeigt. Der ebenfalls rechtsseitig abgelenkte Ebbestrom ist, da er dem Flutstrom nachsteht, nicht nur nicht imstande, sein Bett intensiv auszuhobeln, geschweige denn kann er die ihm von der Flutströmung in den Weg gewälzten Massen beseitigen. Je länger, desto mehr wird sich die Sachlage zu seinen Ungunsten verschieben. Denn dem im Laufe der Zeit immer weiter nach O wandernden ersten Rücken folgen wegen der reichen Sandzufuhren aus W her bald neue. Der Ebbestrom ist deshalb genötigt, seine meistens schwächer ausgefurchte Rinne vom Ufer entfernt zu verlegen. K r ü m m e l schreibt: Es erscheint der Flutstrom wesentlich erodierend, der Ebbestrom auftragend. (Pet. Mitteil. 1889, S. 135.) als Resultat dürfte sich etwa folgendes Profil ergeben: Fig. 5 e.

Fig. 5 e.



Doch das so geschaffene Bild mit dem im allgemeinen parallel mit der Streichrichtung des Flusses laufenden und zwischen den beiden Gezeitenrinnen gelegenen Sandrücken wird bald einer Umänderung unterworfen, zunächst durch die Gezeiten, die in dem submarinen Ästuariensystem ähnlich wie in selbständigen Mündungsarmen wirken dürften und dadurch sowohl den typischen O-Steilrand und den flachen im W markanter gestalten, als auch zu dem ersten neue Sandrücken aufwerfen, wodurch das Gesamtprofil ein wesentlich unregelmäßigeres und verwickelteres wird, was Skizze 5 f andeutet. Ferner erinnere man sich der Einwir-

Fig. 5 f.



kung der nach Richtung und Stärke verschiedenen Winde, die den ruhigen Verlauf der an und für sich regelmäßigen Gezeitenschöpfungen in völlig unberechenbarer Weise beeinflussen. Weststürme beispielsweise erregen manchmal die Grundseen¹⁾, die den Bodenbelag aufwirbeln lassen. Ebenso dürften den Sturmfluten starke Veränderungen zuzuschreiben sein. Kurz: das vor unsern Augen sich entwickelte ruhige Bild der angenommenen Jade wird regellos umgestaltet. Frühere Erhebungen sind verschwunden, neue entstanden, die Rinnen verlegt worden. Diese Unregelmäßigkeit in der Konfiguration des Grundes wirft wiederum ihre Reflexe auf die Gezeitenströmungen zurück, wodurch zahlreiche Interferenzen hervorgerufen werden. So nur sind uns folgende Angaben des Segelhandbuchs²⁾ erklärlich: „Im Wangerooger Fahrwasser setzt der Strom unter Wangeroog in der Richtung des Fahrwassers, weiter östlich von der Blauen Balje jedoch schräg über dieses, so daß die Schiffe bei Flut nach S, bei Ebbe nach der Jade Plate versetzt werden. In der Alten Jade setzt der Strom in der Richtung des Fahrwassers. Im betonnten Fahrwasser setzt die Flut etwas südlicher zur Kursrichtung nach der Jade Plate und dem Minsener Sand zu, die Ebbe etwas nördlicher zur Kursrichtung. In der unbetonnten Rinne zwischen der Jade Plate und dem Minsener Land setzt der Strom etwa in der Richtung des Fahrwassers und beeinflußt die Strömung im Minsener Fahrwasser.“ – Kurzum: man sieht, die Einheit ist gestört, und die schließliche Folge sind die Bildungen gesonderter kuppenartiger Sanderhebungen, die man Sandbänke, Riffe, Untiefen, Sände, Platen, Gründe nennt. –

¹⁾ Segelhandbuch 1906, I, 3, S. 205, 378, 379.

²⁾ Segelhandbuch 1906, I, 3, S. 353.