

I. d₁

Einführung in die Geologie der Nord- und Ostsee¹⁾

(Entwicklung, Formen, Küsten und Sedimente)

von OTTO PRATJE, Königsberg (Pr.)

Mit 21 Abbildungen

Inhalt	Einleitung	I. d 1
1.	Die geologische Geschichte der beiden Meere	
a)	Die Geschichte der Nord- und Ostsee bis zum Diluvium	I. d 3
b)	Die Nordsee seit dem Diluvium	I. d 9
c)	Die Ostsee seit dem Diluvium	I. d 11
2.	Die heutige Nordsee	
a)	Die Küsten der Nordsee	I. d 17
b)	Das Becken der Nordsee	I. d 20
c)	Die Sedimente der Nordsee	I. d 22
3.	Die heutige Ostsee	
a)	Die Küsten der Ostsee	I. d 25
b)	Das Becken der Ostsee	I. d 28
c)	Die Sedimente der Ostsee	I. d 31
4.	Die Sediment-Arten	I. d 34

Einleitung Die Tierwelt der Nord- und Ostsee ist von ihrer Umgebung abhängig, und ein wesentlicher Teil dieser Umgebung ist der feste Boden. Er beeinflußt nicht nur die Tiere, die am oder im Boden selbst leben, sondern auch die freischwimmenden, insofern als die Strömungen und damit die Wasserarten vom Relief des Meeresbodens und von der Öffnung der Zufahrtsstraßen abhängig sind. Die Bodentiere sind in der Regel sehr wählerisch in ihrem Sediment. Meist bevorzugen sie feinere Körnungen; doch ist der Grad der Körnung bei den einzelnen Arten und bei ganzen Lebensgemeinschaften verschieden. Nur verhältnismäßig wenig Tiere leben in größeren Sanden, die entweder in Bewegung sind oder aus denen zum mindesten durch stärkere Strömungen das feinere Material fortgeführt wird. Bei steinigem und felsigem Untergrund ist die Möglichkeit gegeben, daß sich Pflanzen, vornehmlich Tange, in größerer Zahl ansiedeln, die ihrerseits wieder besondere Tiergemeinschaften beherbergen.

¹⁾ Diese Arbeit gilt als 14. Beitrag zur Geologie der Meere. — Der 13. erschien in: Geol. Charakterbilder, 38, 1930; der 12. in: Centralbl. f. Mineralog., 1930 B. 289; 1930.

Die Tierwelt ist nicht nur durch die Umgebung bedingt, sie ist auch historisch geworden, indem von den früheren Bewohnern der Meere mit anderen klimatischen und Strömungs-Verhältnissen Relikte übrig bleiben können. So interessiert schon unter diesem Gesichtspunkt die Geschichte eines Meeres, die aber in diesem Falle nur so weit rückwärts von Bedeutung ist, als eine fortdauernde Wasserbedeckung stattgefunden hat. Das heutige Meer ist nichts Feststehendes, es ist nur ein Augenblicksbild aus einer Entwicklung, wenn auch die Veränderungen, am menschlichen Leben gemessen, meist äußerst langsam vor sich gehen, soweit nicht einzelne Katastrophen plötzlich in größerem Ausmaß die Entwicklungsrich-



Fig. 1. Tektonische Übersichtskarte für das Gebiet der Nord- und Ostsee. Die Bezeichnungen nach TORNQUIST, STILLE und SCHRIEL.

tung veranschaulichen. Die Gestalt des Meeres an den Küsten und am Boden sind nur aus dieser geologischen Geschichte heraus zu verstehen.

Nordsee und Ostsee greifen über sehr verschieden gebaute Teile der Erdkruste hinweg (Fig. 1). Im N liegt der alte Festlandsschild von Fennoskandia, von Finland und Skandinavien, und ebenso alte Teile treffen wir in Schottland und auf den Inseln N davon an. Zwischen diesen liegt der nördliche Teil der Nordsee und in Fennoskandia eingesenkt der Bottnische Meerbusen. Der Finnische Meerbusen und Teile der eigentlichen Ostsee bilden die Grenze gegen die anschließende russische Tafel mit ihren nur flach nach SW geneigten Schichten. An einer schmalen Zone, der sogen. TORNQUISTschen Linie, die Schonen vom übrigen Schweden abtrennt, dann über Bornholm verläuft, bei Kolberg etwa die deutsche Küste erreicht und dann ungefähr die Richtung des Weichsellaufrs hat, treten wir auf das mitteleuropäische Schollenland über, das stark zerstückelt und gefaltet ist und bei dem einzelne Teile der Erdkruste sich selbständig bewegen können, ohne daß das Nachbargebiet dieselbe Bewegung ausführen muß. Das ist für die Beurteilung der jüngsten Bewegungen der Nordsee-

küste von wesentlicher Bedeutung. In diesem Schollenland liegen die westliche Ostsee und die südliche Nordsee. In England treffen wir im Gebiet der Themse ein großes Becken, das Londoner Becken, das immer wieder überflutet worden ist, und somit Gesteine aller Altersstadien enthält. Das letzte große Ereignis der Erdgeschichte, die Eiszeit, hat das Gesamtgebiet der beiden Meere gleichmäßig betroffen, und überall auf den alten Urgebirgsländern haben wir Abtragungsformen und auf den sich südlich anschließenden Tiefländern Aufschüttungsbildungen, die bewirken, daß die so verschiedenartigen Gebiete mit einer einheitlichen Decke überzogen sind und dem Auge nicht ohne weiteres ihren eigentlichen Bau offenbaren.

Vieles zeigt sich an den Küsten, wo der Kampf zwischen Wasser und Land ausgefochten wird. Hier kann durch die Entwicklung der Küsten Hebung und Senkung des Landes sowie die Gesteinsart und der tektonische Bau zum Ausdruck kommen. Die Küsten sind aber auch für die Tierwelt und für die Beobachtung der Tierwelt von Bedeutung, da eine steile Felsküste anderes Leben beherbergt als eine flache Sandküste und ganz andere Voraussetzungen für die Möglichkeit von Fängen gibt. An der flachen Sand- oder Schlickküste kann man manches noch ohne Fahrzeug erreichen, im anderen Falle ist ein Boot unerlässlich.

So ergibt sich die Gliederung dieser geologischen Einführung von selbst.

1. Die geologische Geschichte der beiden Meere

Die Geschichte der Nord- und Ostsee bis zum Diluvium Ein alter Streit, der heute noch nicht entschieden ist, geht um die Permanenz der Ozeane. Haben die großen Wasserbecken immer dort gelegen, wo sie heute sind, oder haben sie sich verschoben, oder sind sie zeitweise ganz verschwunden? Diese Streitfrage ist für Nord- und Ostsee von untergeordneter Bedeutung, da für die Flachmeere, die auf den Sockeln, dem Schelf der Kontinente liegen, Trockenlaufen und erneute Überflutung nicht umstritten sind, denn die vielen marinen Überreste auf dem heutigen Festland gehen fast stets auf solche epikontinentale Meere zurück. Das Wiederersterhenlassen ehemaliger Verhältnisse bietet jedoch durch die lückenhafte Überlieferung große Schwierigkeiten. Nur ein Teil der ehemaligen Absätze ist fossil geworden, und von diesem Teil ist nur wenig bis auf den heutigen Tag erhalten geblieben, und davon sind nur verschwindend kleine Reste uns bekannt geworden. Diese letzte Möglichkeit verkleinert sich nun bei den heutigen Meeren noch um ein Vielfaches, denn wir wissen fast nichts vom tieferen Meeresboden und sind auf Schlüsse angewiesen, die wir aus den Gesteinsvorkommen auf den Inseln und an den Küsten ziehen. Bei den weit auseinander liegenden Aufschlüssen wird es in der Regel schwer halten, eine Gleichzeitigkeit der Schichten innerhalb enger Grenzen nachzuweisen, und so kommt zu den vielen anderen Unsicherheiten noch die Tatsache hinzu, daß zeitlich nicht einheitliche Ablagerungen zusammengefaßt werden. So sind paläogeographische Karten nur als grobe Versuche anzusehen, und auch unsere Skizzen wollen so aufgefaßt werden, wobei noch zu beachten ist, daß die eingetragenen Linien keine Küstenlinien im Sinne der heutigen Karten sind, sondern nur Zonen andeuten, wo etwa die Küste gelegen haben kann.

Nordsee und Ostsee gelten im allgemeinen als sehr junge Meere, die erst im, bzw. seit dem Diluvium entstanden seien. Das ist für die nördliche Ostsee als Meer richtig, für die südliche Ostsee und für die Nordsee ist diese Behauptung jedoch nur berechtigt, soweit man den Beginn der dauernden Wasserbedeckung als Anfang ansieht. Wenn man aber die wiederholten Meereseinbrüche in denselben Bezirk in früheren Zeiten als Vorläufer der Meere auffaßt, so hat die Nordsee und mit ihr ein kleiner Teil der Ostsee ein sehr viel höheres Alter. Sie liegen beide im Bereich der *mitteleuropäischen Mulde*, die immer wieder Senkungen zeigte und zur

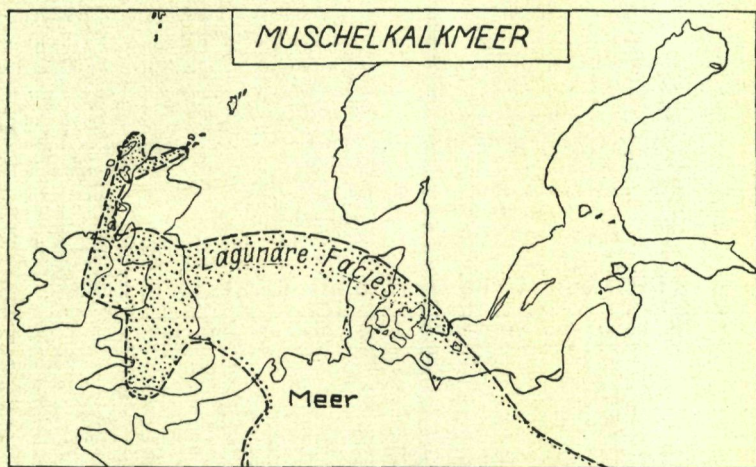


Fig. 2. Das Muschelkalkmeer im Bereiche von Nord- und Ostsee; die punktierten Flächen stellen die lagunäre Fazies dar. — Nach GRABAU, SCHAFFER und WURM.

Zeit der größten Meeresausdehnung bis an das böhmische Massiv mit Wasser gefüllt gewesen ist. Die norddeutsche Senke (Fig. 1) ist ein Rest dieser Mulde. Sie hat sich im Mesozoikum herausgebildet, nachdem im Paläozoikum der tektonische Bau Europas N der Alpen in den Hauptzügen fertiggestellt worden war. An der Silur-Devon-Grenze war das kaledonische Gebirge im N unserer Meere von Schottland bis nach Skandinavien aufgefaltet worden, und im Karbon und Perm verfestigte von S fortschreitend das variskische Gebirge in breiter Zone wesentliche Teile von Deutschland und Frankreich. Zwischen diesen beiden Gebirgszügen liegen wesentliche Teile von Nord- und Ostsee und wurden besonders in ihren Grenzgebieten die Schauplätze eines wechselvollen Kampfes zwischen Land und Meer.

Die alten kambrischen, silurischen und devonischen Meere zeigten noch keine Beziehungen zum heutigen Nordseegebiet, wohl gingen sie teilweise darüber hinweg, ohne es aber irgendwie zu betonen. Die ersten Andeutungen kann man im Zechsteinmeer am Ende des Paläozoikums erkennen, das zwar als Wasserbedeckung bis nach Memel hinauf reichte

und den größten Teil der heutigen Nordsee freiließ, das aber seine hauptsächlichlichen Salzablagerungen S der Nordsee hinterließ.

Mit dem Beginn des Mesozoikums, mit dem *Buntsandstein*, verschwand das Meer fast völlig aus unserem Bezirk, abgesehen vielleicht von lagunären Bildungen. Von den höheren Festländern wurden große Sandmengen heruntertransportiert und weitgehend nach Korngrößen sortiert. Aus dieser Zeit stammen auch die roten Gesteine der Helgoländer Felsen. Bald drang das Meer durch zwei Pforten im südlichen Elsaß und in Schlesien in die Mulde wieder ein und erfüllte sie mit einem Binnenmeer, dem

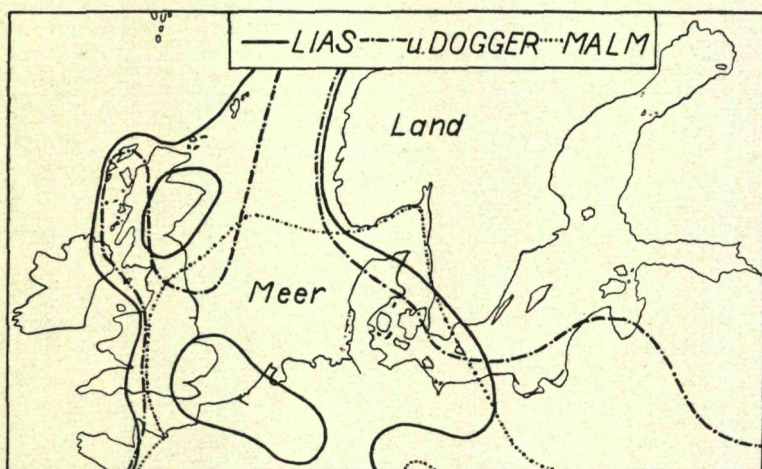


Fig. 3. Das Jurameer im Bereiche von Nord- und Ostsee; die ausgezogene Linie stellt den Lias, die gestrichelte den unteren Oolith und die punktierte das Tithon dar.

Nach GRABAU, HAUG und LEWINSKI.

germanischen *Muschelkalkmeer*, das wesentliche Teile der Nordsee mit umfaßte und fast bis an die böhmische Masse reichte (Fig. 2). Im N und auf den britischen Inseln sind landnahe und lagunäre Bildungen festgestellt worden, so daß wir hier die Grenze mit einiger Sicherheit festlegen können. Die höchsten Teile der Helgoländer Dünenklippen, die unmittelbar an den Nordhafen angrenzen, bestehen aus Kalken, die sich in der frühen Muschelkalkzeit abgesetzt haben. Der im NO sich anschließende tiefere Teil der Klippen aus Gipsen, Tonen, Mergeln und Kalken ist in den späteren Phasen der Meeresbedeckung entstanden und läßt erkennen, daß das Muschelkalkmeer zeitweilig stark eindampfte, so daß Gipse abgeschieden werden konnten. Dann vertiefte sich das Meer noch einmal vorübergehend, um im *Keuper* ganz zu verschwinden. In dem *Muschelkalkmeer* kann man demnach im weiteren Sinne den ersten Vorläufer der Nordsee sehen.

Nachdem die mitteleuropäische Mulde so in Erscheinung getreten war, wurde sie von allen späteren Meeren immer wieder benutzt. Am Ende der Keuperzeit, im Rhät, begann eine neue Überflutung, die zum *Lias*-

Meer führte. Die mutmaßliche Ausdehnung ist durch ausgezogene Linien in Fig. 3 wiedergegeben. Die Grenzen decken sich im großen schon mit dem heutigen Nordseebereich unter Einschluß des westlichen Teiles der Ostsee. In Schottland und im SW lagen wahrscheinlich große Inseln. Im *Dogger* greift das Meer weit über seine bisherigen Grenzen hinüber, die südliche Ostsee wird einbezogen und eine Verbindung mit Rußland, und damit mit dem offenen Weltmeer dort, wird hergestellt. In der Karte (Fig. 3) ist die Ausdehnung des Meeres während des unteren Doggers durch - - - - - dargestellt, die am Ende des Doggers teilweise noch überschritten wurde. Nach diesem Maximum ging das Meer im *Malm* wieder zurück, tektonische Bewegungen ließen Länderteile erneut auftauchen und schufen die Gebirge am S-Rande des norddeutschen Flach-

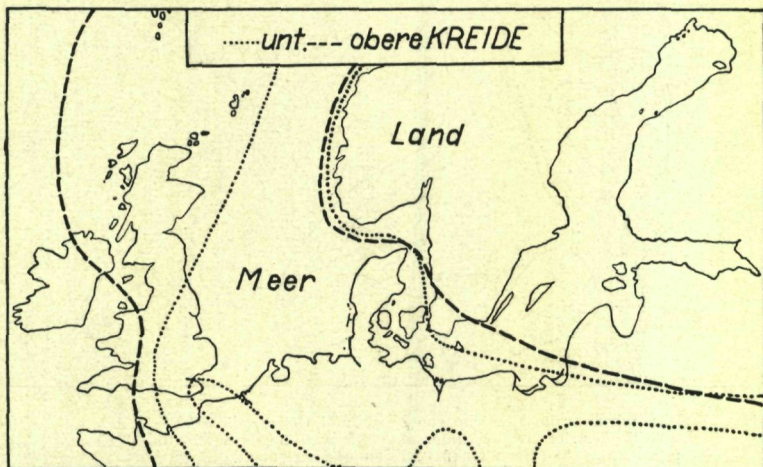


Fig. 4. Das Kreidemeer im Bereiche von Nord- und Ostsee; die punktierte Linie stellt die Barrême-Grenze und die gestrichelte Linie die Maastrichtien-Grenze dar.
Nach HAUG und SCHAFFER.

landes. Am Ende der Jurazeit, im Tithon, hat in unserem Bezirk das Meer eine ähnliche Ausdehnung wie in der Muschelkalkzeit. Der N-Teil der Nordsee dürfte trocken gelegen haben, wie es die punktierte Grenze der Fig. 3 andeutet. In England kommen die Jurareste bis an das Meer heran vor und in Dänemark und N-Deutschland liegen Geschiebe, die vermuten lassen, daß im Skagerak ebenfalls Jura ansteht. Auffälligerweise fehlen Juraschichten auf den Dünenklippen von Helgoland. Am Strande sind einige Stücke gefunden worden, doch anstehend hat Jura bisher noch nicht nachgewiesen werden können. Dabei muß noch unentschieden bleiben, ob die Juraschichten hier überhaupt nicht zum Absatz gekommen sind oder ob sie nachträglich wieder zerstört worden sind, bevor die Kreideschichten sich niederschlugen.

Das Meer der *unteren Kreide* hatte, nachdem das Minimum zu Beginn der Kreidezeit überwunden war, wieder etwas an Ausdehnung nach

N gewonnen; doch lag die S-Grenze nördlicher als bisher, wie aus Fig. 4 ersichtlich ist (die punktierte Linie stellt das Barrême-Meer dar). Diese N-wärtsbewegung innerhalb der mitteleuropäischen Mulde wurde im weiteren Verlaufe der Kreidezeit fortgesetzt, und das Meer zog sich in das heutige Nordseebecken zurück. In der *oberen Kreide* dehnte es sich noch einmal aus, es ging im W über den Nordseebezirk hinaus und an der Ostsee wurde Schonen und O anschließend ein Streifen in entsprechender Breite in das Meeresgebiet einbezogen. In Schonen sind die Küstenablagerungen in klarster Weise noch vorhanden und erleichtern die Grenzführung auf der Karte (— — — — in Fig. 4).

Damit schließt das Mesozoikum ab, es brachte die mitteleuropäische Mulde und das Wandern der Meeresräume darin von S nach N. In das

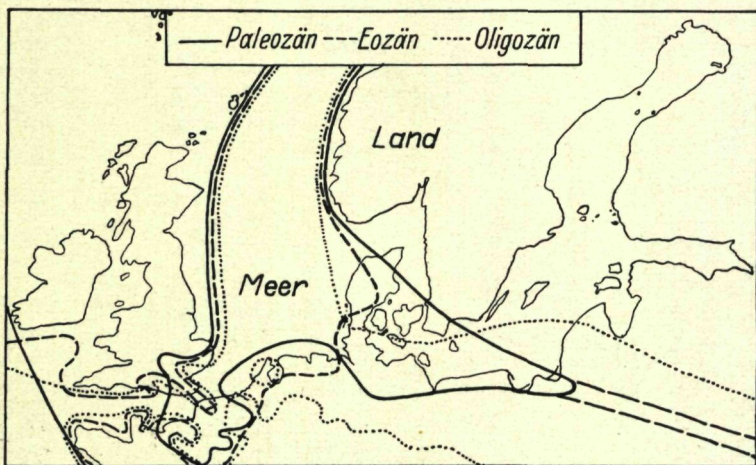


Fig. 5. Die Verbreitung von Land und Meer im unteren Tertiär; die ausgezogene Linie gibt die Meeresgrenzen im Thanetien an, die gestrichelte Linie im Lutetien und die punktierte Linie im Lattorfien. — Nach E. KAYSER.

nun folgende Känozoikum fällt die Ausgestaltung des Nordseebeckens und der Ostsee. Nur einmal greift das Meer noch wieder nach S darüber hinaus, unbedeutend allerdings im Vergleich zu den Überflutungen des Mesozoikums. Aus der Tertiärzeit sind die Überlieferungen zahlreicher, und dadurch können die Kartenskizzen um so zuverlässiger werden.

Die Verteilung von Land und Wasser im ältesten Tertiär des *Paleozäns* (Fig. 5) entspricht im großen der der Kreidezeit, soweit sie Nord- und Ostsee betrifft. Die Ausdehnung nach S ist etwas geringer, und die Küstenlinie fällt nun ungefähr hier mit der heutigen Küstenlinie zusammen, unter Ausschluß von Jütland und unter Beibehaltung eines großen Beckens von London bis Paris und Brüssel. Die Verbindung mit dem offenen Weltmeer war im N und vielleicht durch eine Straße im O. Im W zwischen Frankreich und England war sie jedenfalls noch nicht; hier bildet sie sich erst im *Eozän* heraus, indem vom Pariser Becken eine Ver-

bindung mit dem Atlantik geschaffen wird (Fig. 5). Dafür hat sich das Meer aus dem O zurückgezogen und umfaßt praktisch nur noch das heutige Nordseegebiet. Gegen die Mitte der Tertiärzeit, im *Oligozän*, wurde die Verbindung mit dem O in breitem Zuge wieder aufgenommen und die südliche Ostsee und ein fast eben so breiter Streifen N-Deutschlands kommt wieder unter Wasserbedeckung. Die W-Verbindung verliert durch die erneute O-Orientierung an Bedeutung, sie verschwindet zwar noch nicht ganz, aber Flachwasser-, Brack- und Süßwasserablagerungen deuten die Schließung an. Die Rinne wurde wieder nötig, als im *Miozän* die

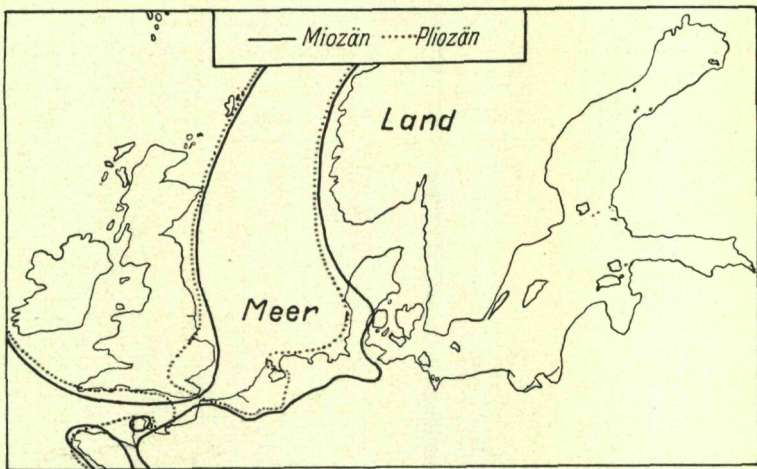


Fig. 6. Die Verbreitung von Meer und Land im oberen Tertiär; die ausgezogene Linie entspricht der Vindobon-Zeit, die punktierte dem Piazentin. — Nach E. KAYSER.

ganze O-Straße verschwunden war (Fig. 6). Diese großen Veränderungen des Oligozän und des Miozän fallen zeitlich und wohl auch ursächlich mit den großen Gebirgsbildungen zusammen, die unter anderem zur Auffaltung der Alpen führten. Das Pariser und das Londoner Becken verschwanden ebenfalls, aber die heutigen holländischen, deutschen und dänischen Küsten lagen zum Teil unter dem Meeresspiegel. Die entsprechenden Ablagerungen sind an vielen Stellen der Küste aufgeschlossen (in Jütland, Schleswig-Holstein, bei Hamburg, Lüneburg usw.).

Die Trockenlegung schritt im Pliozän weiter fort; zeitweilig deckte sich das damalige Meer mit dem Umfang der heutigen Nordsee fast völlig (Fig. 6). Nur auf Sylt (Morsum-Kliff) kam noch marines Pliozän zur Ablagerung, und im SW waren die Rhein- und die Themsemündung sowie die anschließenden Gebiete unter dem Meere. Die Ostsee dürfte als großes haltisches Tal mit einem entsprechenden Flußsystem bestanden haben, ohne daß es aber schon unter Wasser gesetzt wurde. Das Land stieg im Laufe der Zeit weiter, die ganze Nordsee wurde wahrscheinlich trockengelegt, das Wetter verschlechterte sich, und wiederholt drangen die

Eismassen im Diluvium von Skandinavien vor. Während bisher die Ostsee immer nur als Anhängsel zur Nordsee erschien, beginnt sie nun eine eigene Geschichte, die komplizierter ist und einschneidendere Unterschiede aufweist als die der Nordsee. Deshalb sollen die beiden Meere jetzt getrennt besprochen werden.

Die Nordsee seit dem Diluvium

Die Eismassen drangen von Skandinavien über Jütland vor und erreichten in ihrer größten Ausdehnung den Harz, die Rheinmündung und SO-England bis etwa zur Themse (Fig. 7) und vereinigten sich mit den Gletschern, die von Schottland und Irland ausgingen. So wurde eine geschlossene Eisdecke geschaffen, die

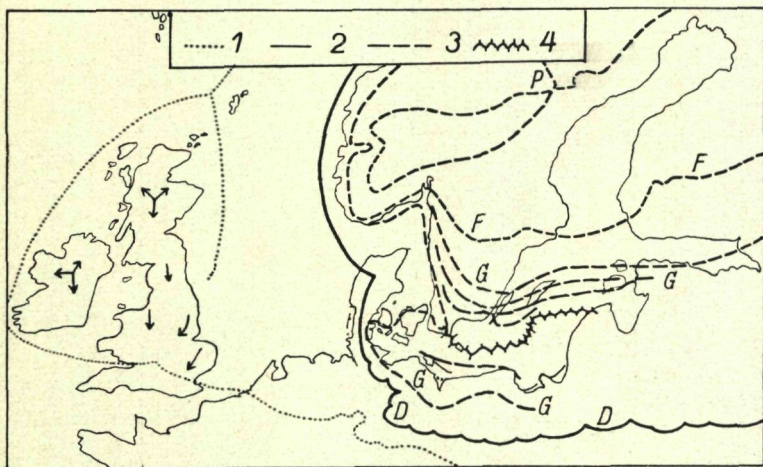


Fig. 7. Nord- und Ostsee im Diluvium. — Die Pfeile in England und Irland geben die Fließrichtung des Eises an; 1 die größte Ausdehnung des Eises; 2 Lage des Eises im Daniglazial (D); 3 Eisrandlagen im Gotiglazial (G), Finniglazial (F) und beim Beginn des Postglazial (P); 4 Grenze zwischen Ausräumung im N und Aufschüttung in der Ostsee im S. — Nach ANTEVS, BÜCHTING und GEIKIE.

nur das südlichste England und Frankreich freiließ. Das unter den Gletschern liegende Nordseegebiet muß im wesentlichen wohl als Festland angesprochen werden. Die Eisbedeckung wurde von wärmeren Interglazialzeiten unterbrochen, von denen die letzte für die Nordsee keine »Zwischen«-Eiszeit mehr war, denn die für den O so wichtige Weichsel-Eiszeit brachte keine Eismassen mehr in das Nordseegebiet. Nur in der Elster- und der Saale-Eiszeit drangen sie so weit vor und hinterließen mächtige Schuttmassen in Form von Grund- und Endmoränen. Die Steinzonen der Nordsee und die Riffe und Riffgründe dürfen wohl als ausgewaschene Moränen aufgefaßt werden, da sie an die entsprechenden Züge des festen Landes anschließen und $\pm$ parallel mit den Moränen der jütischen Halbinsel verlaufen.

Die zwischen diesen beiden Eiszeiten eingeschaltete Zwischeneiszeit ist am Boden der Nordsee nicht sicher nachzuweisen, vielleicht gehören

einige Torfreste hierher. An der dänischen Küste dagegen werden verschiedene Ablagerungen in diese Zeit gestellt. Zeitlich wesentlich besser festgelegt sind die Torfreste aus dem zweiten Interglazial, zu denen auch der Helgoländer Töck aus dem Nordhafen gehört. Die Moore sind nicht wieder von neuen Moränen zugedeckt worden, sondern nur von Fließerde oder fluvioglazialen Material, so daß sie leicht freigespült werden können. Um diese Zeit bahnte sich das Meer noch einmal seinen Weg am S-Rande der Nordsee entlang hinüber zur Ostsee bis nach Ostpreußen und möglicherweise bis nach Petersburg, falls dort nicht ein Einbruch vom Weißen

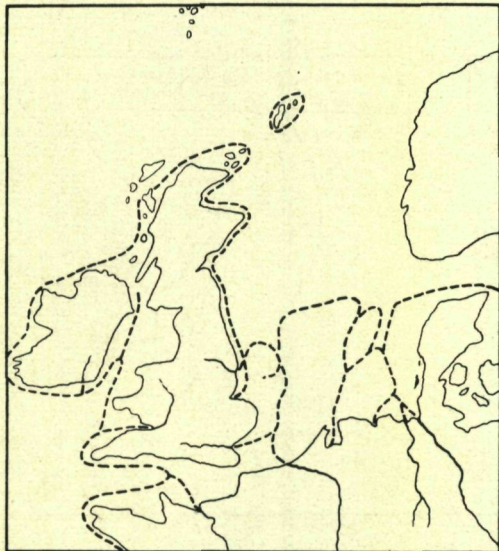


Fig. 8. Die postglaziale Nordsee. — Nach GEIKIE, REID und SCHÜTTE.

Meere her erfolgte. Dieses *Eem-Meer*, das seinen Namen nach einem holländischen Flößchen hat, enthielt nur Nordseemollusken und Formen des atlantischen Ozeans (lusitanische), aber keine arktischen Arten. Wo das Nordufer des Eem-Meeres gelegen hat, ist nicht festzustellen.

Das Eis der Weichsel-Eiszeit machte auf der jütischen Halbinsel halt und hat nur das Skagerak noch in Mitleidenschaft gezogen. Gleichzeitig lebten die Gletscher in Schottland und Irland wieder auf, ohne aber wesentlich auf das Nordseegebiet überzugreifen. Da seit der vorletzten Eiszeit in der Nordsee nacheiszeitliche Bildungen auftreten, ist der Vergleich mit dem Ostseegebiet, wo sie erst entsprechend später auftreten, erschwert. Das Eem-Meer verschwand, und möglicherweise lag die ganze Nordsee mit Ausnahme der norwegischen Rinne trocken, und alle Flüsse vereinigten sich mit dem Urrhein, wie ihn sich GEIKIE & DAWKINS vorstellten. Der Kanal war noch nicht vorhanden. Nach und nach drang das Meer weiter nach S vor und machte wohl eine Zeitlang an der Dogger-

bank halt, die zusammen mit der Turbotbank und der Jütlandbank einen Dünenstreifen getragen haben wird und den großen Säugern eine Wandermöglichkeit von England her gab (Fig. 8). Auf und hinter den Bänken bildeten sich Moore, die nach den Pollenuntersuchungen als präboreal bis boreal festgestellt worden sind. Vor etwa 8000 bis 9000 Jahren war also die südliche Nordsee noch Festland, und der Mensch des ältesten Neolithicum konnte dort wandern, wo heute die Ozeandampfer verkehren. Diese Ereignisse dürften im Ostseegebiet der *Yoldia*-Zeit bis in die *Ancylus*-Zeit hinein entsprechen.

Eine erneute Senkung brachte ein weiteres Vordringen des Meeres, und die heutige 60-m-Linie, die ungefähr der Strandlinie entsprochen haben mag, tauchte unter. Das Meer konnte rasch an Raum gewinnen und gleichzeitig vollzog sich der Durchbruch des Kanals, wobei wahrscheinlich Senkung und Erosion durch eine verstärkte Flutwelle Hand in Hand gearbeitet haben. Der Boden der SW-Nordsee erhielt durch das Einströmen der großen Wassermengen mit der Flut durch den Kanal eine wesentliche Umgestaltung. Die Doggerbank wurde zunächst Insel, verschwand dann bald, und das Meer griff ziemlich weit in das Land hinein, so weit, wie wir heute Marschland antreffen. Vor der Küste bildeten sich Schlick und Sandwatten (wie auch heute noch), die durch eigene Aufhöhung und durch Hebung des Landes über den Meeresspiegel kamen und zu dem fruchtbaren Marschenland wurden. Die einzelnen Teile der Küste machten entsprechend der Zerstückelung des Landes dabei verschieden starke Bewegungen, die in ihrem Ausmaß noch erheblich umstritten sind, da auch Sackungen des jungen Bodens und der Moore stattgefunden haben. Gegenwärtig befindet sich unser Küstengebiet anscheinend in einer Senkungszeit, und ein großzügiges Feinnivellement mit Anschluß an Festpunkten im älteren Gebirge ist in die Wege geleitet und wird Aufklärung über die gegenwärtigen Bewegungen bringen. An der N-englischen, schottischen und N-jütischen Küste haben wir überwiegend aufsteigende Bewegungen zu verzeichnen.

Die *Gesamttenzend der Nordsee* im weitesten Sinne ist ein N-wärts-wandern in der mitteleuropäischen Senke sogar durch das zerbrochene alte kaledonische Gebirge hindurch, und gegenwärtig erleben wir eine rückwärts, eine südlich gerichtete Überflutung geringen Ausmaßes, wie sie immer wieder vorgekommen ist. Die postglazialen Bewegungen des Nordseegebietes weichen von denen der Ostsee ab, denn beide liegen in ganz verschiedenen tektonischen Einheiten; hier die Nordsee in dem Schollenland und dort die Ostsee in dem alten Schild von Fennoskandia, und nur der westliche Teil der Ostsee zeigt, wie früher schon, zeitweise eine Zusammengehörigkeit mit der Nordsee.

Die Ostsee seit dem Diluvium

Als sich das diluviale Eis zum letzten Male aus dem Ostseegebiet zurückzog, war schon eine Senke, die auch das Eis in seiner Richtung beeinflusst hatte, vorhanden, und der S-Rand dieser Senke wurde etwa 17000 v. Chr. eisfrei. Man nennt diesen Zeitabschnitt das *Gotiglazial*, der so lange dauerte, bis der Eisrand das südliche Finland erreicht hatte und damit das *Finniglazial* begann. Der Zeitraum vorher, mit der Eisrandlage in Dänemark und auf

dem baltischen Höhenrücken, wird als *Daniglazial* bezeichnet (vergl. Fig. 7 D, G, F). Während der ersten Zeit des Gotiglazials, bis etwa 15 000 v. Chr., konnten die Meere weder vom W noch vom NO eindringen; nur breite Schmelzwasserrinnen und -seen dürften vor dem Rand des Eises gelegen haben und sind voraussichtlich über die Darsser Schwelle in Richtung auf die dänischen Inseln abgeflossen, die höher als heute aus dem Meere emporragten. Um das Jahr 12 000 v. Chr. lag der Eisrand auf der Insel Gotland, und die am Boden der Ostsee nachweisbaren Reste von Endmoränenzügen in Richtung auf Ösel und Dagö stammen aus dieser Zeit. In weiteren 2000 Jahren hatte der Eisrand das Gebiet S der Ålands-

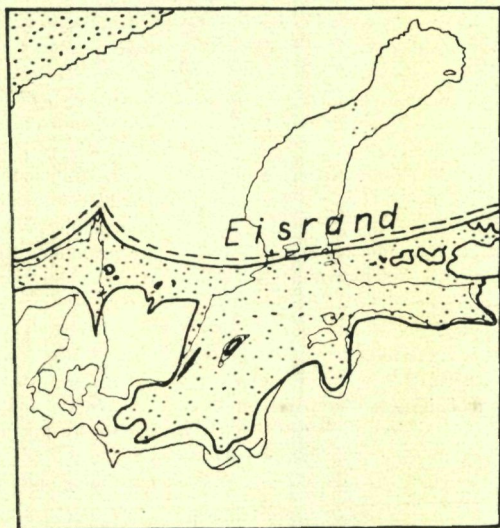


Fig. 9. Das spätglaziale Yoldia-Meer ungefähr um 7900 v. Chr. — Nach SAURAMO 1929.

inseln erreicht und setzte die großen Moränenzüge in Finland ab. Der nachlassende Eisdruck bewirkte ein wenn auch ungleiches Ansteigen Skandinaviens, und dabei füllte sich die Ostseesenke mit Süßwasser: dem *baltischen Eisse*, in dem sich Bändertone absetzten. Beim sommerlichen Abschmelzen kam überwiegend gröberes Material zum Absatz; im Winter, wo keine neue Zufuhr erfolgte, konnte sich dann die feinste Trübe allein niederschlagen, und so entstand ein Wechsel dünnster Schichten, die den Jahreszeiten entsprechen und eine Zeitrechnung ermöglichen. Der baltische Eisse dürfte mit den großen russischen Seen und dadurch mit dem Wolgasystem in Verbindung gestanden haben, so daß nordische Formen in das Kaspische Meer kommen konnten. Die südliche heutige Ostseeküste lag damals höher und wurde vom Wasser nicht erreicht. Es war nicht nur Rügen, sondern wahrscheinlich auch Bornholm nach S landfest. Erst N einer Linie, die von Schonen zum S-Ende des Riga'schen

Meerbusens hinübergeht, reichte der Seespiegel über die heutigen Ufer hinweg (Fig. 9).

Als Mittelschweden (Västergötland) eisfrei geworden war, fand der Eissees hier einen neuen Ausfluß durch die Zone der großen schwedischen Seen, und sein Spiegel wurde in mehreren Etappen um 75 m gesenkt. Die Hauptabsenkung fand im Jahre 7873 v. Chr. statt, breite Säume um den übrigbleibenden See waren trockengelegt, und das Nordseewasser konnte durch die neue Verbindung eindringen. Es brachte eine entsprechende Fauna mit, u. a. die *Yoldia arctica*, die dem Meere den Namen

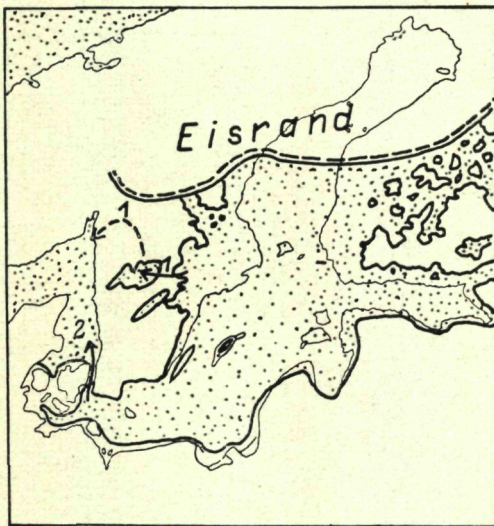


Fig. 10. Der Ancylus-See in seiner größten Ausdehnung etwa um 7400 v. Chr.
1 der Abfluß bis zu dieser Zeit; 2 nachher. — Nach SAURAMO 1929.

Yoldia-Meer gegeben hat. An der ozeanischen Seite fand man Reste von Walen, Seehunden, Krebsen und die Schalen von mancherlei Mollusken, wie *Mya truncata*, *Pecten islandicus*, *Arca glacialis*, *Macoma calcarea*, *Saxicava arctica* und *Buccinum groenlandicum* sowie *Trophon clathratus*, also eine typisch arktische Fauna (SAURAMO). Wahrscheinlich bestand auch eine Verbindung im O des Finnischen Meerbusens zum Weißen Meer hinüber, und die marinen Tiere, die in den großen Seen Finlands als Relikte angesehen werden, wie *Cottus quadricornis*, *Idothaea entomon* und *Phoca communis*, müssen nach SAURAMO in dieser Zeit eingewandert sein, weil die Seen in der *Littorina*-Zeit keine Verbindung mehr mit der Ostsee gehabt haben sollen. Selbst an der finnischen Küste war das Wasser so salzig, daß zahlreiche marine Diatomeen, wie *Campylodiscus echineis*, dort gedeihen konnten. Ebenfalls als Relikte dieser Zeit sind nach GAMS die marinen Reliktenkrebse in norddeutschen und anderen Seen (*Mysis relicta*, *Pontoporeia affinis*, *Pallasea quadrispinosa*, *Limnocalanus grimaldii*, *Ido-*

thea entomon u. a.) und andere Meeresrelikte, wie der Fisch *Osmerus eperlanus*, aufzufassen, wenn auch die S-Küsten der Ostsee damals nicht überflutet gewesen sind. Dennoch konnten die Wohngewässer bei der leichten Anpassung mancher der genannten Krebse aus Süßwasser vom *Yoldia*-Meer aus leicht erreicht werden. Gegenüber dem Eisseer hatte hier im S eine geringe Transgression stattgefunden, die entweder auf Senkung des Landes oder auf Ansteigen des Meeresspiegels infolge vermehrter Abschmelzung zurückzuführen ist.

Der Weg zum Weißen Meer schloß sich zuerst, und nach etwa 700 Jahren hörte durch das fortgesetzte Aufsteigen Skandinaviens auch die

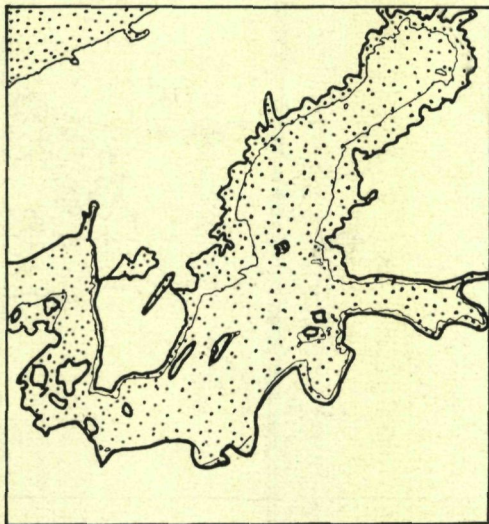


Fig. 11. Das *Littorina*-Meer in seiner größten Ausdehnung etwa um 4000 v. Chr.
Nach SAURAMO 1929.

breite mittelschwedische Straße auf. Neues Salzwasser konnte nicht mehr eindringen, und so erfolgte vom N her eine Aussüßung; der *Ancylus*-See entstand (Fig. 10), der seinen Namen nach *Ancylus fluviatilis* hat, einer kleinen Schnecke, die allerdings nicht völlig auf diese Zeit beschränkt ist. Außerdem kamen *Pisidium*-Arten und Diatomeen als Leitformen vor. Während der Zeit der größten Ausdehnung lag der Seespiegel etwa 35 m über dem damaligen Ozeanspiegel und erreichte fast schon die deutsche Ostseeküste. Von Finland und Mittelschweden waren jedoch noch weite Flächen überflutet.

Der Abfluß erfolgte wieder zum Vänern über eine breite, etwa 30 m hohe Schwelle. Gotland, Öland und Bornholm dürften zunächst noch mit dem Festland verbunden gewesen sein; später wurden sie jedoch durch eine relative Senkung Dänemarks, der eine Hebung im N-Teile der Ostsee entsprach, zu Inseln, die Darsser Schwelle tauchte unter und der Abfluß

durch den Belt war hergestellt. In die Zeit des *Ancylus*-Sees, der von 7000 bis 5000 v. Chr. bestand, fällt auch die Zerteilung des weit nach N zurückgeschmolzenen Inlandeises, die als das Ende der Eiszeit aufgefaßt wird (6800 v. Chr.).

Durch die Pforte zwischen den dänischen Inseln drang wieder Meerwasser ein und ging im deutschen Abschnitt durch fortschreitende Senkung über die Ufer des *Ancylus*-Sees. Das Meer wird als *Littorina*-Meer (Fig. 11) nach der Schnecke *Littorina litorea* bezeichnet.

Vor dem Beginn der *Littorina*-Zeit, die ihr Maximum etwa um das Jahr 4000 v. Chr. hatte, brach im Nordsee-Gebiet der Englische Kanal durch und schuf dadurch wesentliche Veränderungen. Für die Ostsee brachte er ein Wärmerwerden des Klimas, weil nunmehr warmes Golfstromwasser in die Nordsee eindringen konnte und wohl auch durch entsprechende Senkungen im N in stärkerem Maße zur norwegischen Küste vordrang. In der Ostsee hatte sich die Fauna wesentlich geändert. Aus finnischen Muschelbänken kennt man aus dieser Zeit: *Mytilus edulis*, *Tellina baltica*, *Cardium edule*, ferner *Hydrobia baltica* und seltener *Neritina fluviatilis*, *Lymnaea ovata*, *Rissoa parva*, *Paludina borealis*, *Littorina rudis* und *Littorina litorea*, und von den Diatomeen sind charakteristisch *Rhabdonema arcuatum*, *Rh. minutum*, *Hyalodiscus scoticus*, *Grammatophora marina* und *Campylodiscus clypeus*, sowie *Mastogloia brauni*.

Die Versalzung der Ostsee ging allmählich wieder zurück, als durch eine neue Hebung Dänemarks (andere meinen durch Absinken des Meerespiegels) die Pforten im W enger wurden. Die marine Fauna zieht sich immer mehr nach dem W-Ausgang zurück, und viele Arten verschwinden überhaupt. Süßwasserformen wandern ein und *Lymnaea ovata* wird namensgebend für das *Lymnaea*-Meer, das in der jüngsten Zeit (etwa 2400 v. Chr.) von dem wenig veränderten *Mya*-Meer abgelöst wird, nachdem die *Mya arenaria*, die größte der heutigen Ostseemuscheln, eingewandert ist.

Durch das Vordringen des Meeres in der *Littorina*-Zeit sind auch die Wohnplätze der Steinzeitmenschen unter den Wasserspiegel gekommen, und gerade sie dienen mit zur zeitlichen Festlegung der Überflutung.

Die heutigen Ostseeküsten sind noch nichts Feststehendes, wenn auch gerade die uns am meisten interessierende deutsche Küste anscheinend keine Bewegungen ausführt. Doch Fennoskandia ist nach wie vor im Aufsteigen, der N mehr als der S, und zwar hebt sich, nach WITTING, das Gebiet in der Zone Dagö, Gotland, Öland etwa 20 cm in 100 Jahren, das Gebiet mit den Ålandsinseln etwa 50 cm, bei Sundsvall etwa 90 cm und in der Bottenwik sogar 100 cm, also um recht beträchtliche Beträge.

Hand in Hand mit den verschiedenen Stadien der Ostsee gingen auch Klimaänderungen, die in folgender Tabelle zusammengestellt sind:

Chronologisches Schema für die nacheiszeitliche Ostsee

	Abschnitte (nach DE GEER)	Lage des Eisrandes	Temperatur in S-Schweden	Klimaperioden	Stadien der Ostsee	Kulturperioden
1900 n. Chr. 1000 n. Chr.	Postglazialzeit		Julitemp.: 16 ⁰ relativ feucht und kalt Klimaver- schlechterung	Subatlantisch	<i>Mya</i> -Meer	Historische Zeit
1000 v. Chr. 2000 v. Chr.			Julitemp.: 17 ⁰ trocken u. kalt	Subboreal	<i>Lymnaea</i> -Meer	Eisenzeit
3000 v. Chr. 4000 v. Chr.			Julitemp.: 18 ⁰ bis 18.5 ⁰ feucht u. warm lange, warme Herbste	Atlantisch	<i>Littorina</i> -Meer	Ältere nordische Steinzeit
5000 v. Chr.			Julitemp.: 17 ⁰	Boreal	<i>Ancylus</i> -See	Epipaläo- lithische Steinzeit
6000 v. Chr.			Julitemp.: 10 ⁰ bis 12 ⁰	Subarktisch		
7000 v. Chr. 8000 v. Chr.	Finiglazial	Ende der Eiszeit (Zweiteilung des Elses)	Julitemp.: 9 ⁰ Julitemp.: 7 ⁰ bis 8 ⁰ Julitemp.: 6 ⁰	Arktisch	<i>Yoldia</i> -Meer	
9000 v. Chr. 10 000 v. Chr. 15 000 v. Chr.	Gotiglazial	Eisrand in S-Finland			Eisseestadien in der S-Ostsee	
18 000 v. Chr.	Daniglazial	Die deutsche Küste wird eisfrei				

2. Die heutige Nordsee

Die Küsten der Nordsee

Die Küsten der Nordsee sind außerordentlich verschieden; im N, sowohl auf der schottischen wie der norwegischen Seite, sind es steile Felsküsten, die aus tiefem Wasser aufsteigen, und im S liegen weit draußen schon Bänke und Untiefen, die allmählich zu den amphibischen Watten, die bald Wasser und bald Land sind, hinüberführen und an die sich dann erst die durch Deiche gesicherte Küste anschließt. An der Außenkante der Watten liegen vielfach noch Düneninseln, welche die eigenartige Selbständigkeit der Wattenzone noch betonen.

Selten ändert sich der Küstencharakter plötzlich, abgesehen von örtlichen Einschaltungen, und so kann man lange, ähnlich gestaltete Abschnitte feststellen. Beginnen wir im NW, so bestehen die Küsten der Shetland-Inseln größtenteils aus alten Eruptivgesteinen und metamorphen Sedimenten, die steile Vorgebirge und Felsklippen bilden. Dabei sind sie stark von Tangen besiedelt und geben einer reichen Fauna Lebensraum. Die Shetlands wie die Orkneys zeigen Falten, deren Sättel gegen die Nordsee vielfach durch Verwerfungen abgeschnitten sind. Auf den Orkneys ändert sich das Material, der devonische Old-Red-Sandstein ist weniger widerstandsfähig, und so sind die Küsten nur teilweise steil und felsig, sonst flach und sandig. Der N-Teil Schottlands, die Halbinsel Caithness, besteht in der Hauptsache aus Graniten und Gneisen des kaledonischen Systems, und die Ostküste ist in ihrem geradlinigen Verlauf durch Verwerfungen bedingt und weist meist steile Ufer mit vorgelagerten Klippen neben einigen flacheren Gebieten mit Sandstrand auf. Im Innern des Firth of Moray kommt der Zusammenhang zwischen Küste und geologischem Bau schön zum Ausdruck. In einer Grabensenke liegt der Old-Red-Sandstein, und an der Störungszone springt die Richtung der Küste um. Vor den Sandsteinkliffs legt sich meist ein schmaler Sandstrandsaum. Am S-Ufer des Firth of Moray setzt sich die bisherige Küstenausbildung dem Granit und Gneismaterial des Hinterlandes entsprechend fort, und $\pm$ hohe, steile Ufer werden von Dünenstreifen unterbrochen. Ähnlich geht es weiter: die Umbiegung der Küste nach S ist sandig bis Peterhead, und dann folgen steile Felsufer aus verschiedenen Gesteinen, die nur immer jünger werden, vom Silur über Karbon, Perm und Jura zur Kreide, die am Humber erreicht ist. Die Tektonik läßt sich nur noch selten in direkte Beziehung zum Küstenverlauf bringen, höchstens daß die Störungen meist senkrecht darauf stehen. An vielen Stellen sind schroffe, kleine Felsinseln gewissermaßen als Zeugenberge den Steilküsten vorgelagert, und vor den Flußmündungen, in deren oft erweitertem Ende die Häfen liegen, können Sandbänke auftreten.

S vom Humber, entlang der großen Bucht »The Wash« bis nach Cromer, ist die Küste niedrig und teilweise eingedeicht. Das deutet darauf hin, daß Quartär am Aufbau der Küste teilnimmt. Bei Cromer treten nochmals steile Kreidefelsen an die Küste und werden dann von Pliozän abgelöst, und damit erscheinen Sanddünen am flachen Strand. In der Gegend von Yarmouth sind zahlreiche Sandbänke der Küste vorgelagert, und bald tritt erneut eine Kliffküste auf, die aber nur noch aus rotem Lehm, aus Kies und Sand besteht, also aus weichen tertiären Ablagerungen;

denn wir sind nunmehr an das Londoner Becken gelangt, das uns in der Paläogeographie wiederholt begegnete und das heute noch gegen die Nordsee geöffnet ist und von der Küste abgeschnitten wird. Der breite Mündungstrichter der Themse unterbricht die S-Richtung der Küste und ist von zahlreichen Bänken angefüllt, die bei Niedrigwasser trocken fallen und hier schon eine Art Watt bilden. An den Ufern der Mündung sind nicht übermäßig hohe Kliffs mit steinigem Strand oder bis an das Meer reichende Hügel. An der Umbiegung O von Margate haben wir das Londoner Becken hinter uns, und im Vorgebirge North-Foreland kommen beinahe senkrecht abfallende Kreidelfelsen wieder an das Meer heran, die bis Ramsgate gehen, dann nach NW umbiegen und vorübergehend abflachen. Bei South-Foreland ist der englische Kanal erreicht.

Die *Festlandküste* der Nordsee, die man von der französischen Grenze an rechnen kann, hat keine Ähnlichkeit mit der englischen. Flaches, alluviales Marschenland mit einem Dünenstreifen und schönem Sandstrand zieht sich von La Panne über Ostende bis zur Scheldemündung, die durch mehrere Inseln und Bänke in eine W- und eine O-Schelde zerlegt wird. Die Inseln setzen das bisherige Bild fort, nur daß sie eingedeicht sind. Genau so bleibt es im Mündungsdelta der Maas und des Rheins. Die Dünen ziehen dann weiter nach Texel hinauf, und draußen liegen vor der ganzen bisherigen Küste Sandbänke, die das Wasser nur langsam tiefer werden lassen.

Mit Texel ändert sich der Küstencharakter, aus der N-Richtung wird eine O-Richtung, und die Dünenkette löst sich vom Festland los und in einzelne Inseln auf, die meist auf der Rückseite einen Streifen Marschland haben. Die Inseln gehen in das Watt über, das sich zwischen ihnen und der Küste ausdehnt. Die ersten 3 der W-friesischen Inseln (Texel, Vlieland, Terschelling) schließen die größte Bucht an dieser Küste, die Zuider-Zee, ab, die gegenwärtig dem Meere wieder abgerungen wird. Mit Rottum an der Emsmündung hören die W-friesischen Inseln auf, und mit Borkum beginnt die deutsche O-friesische Reihe, die in Wangerooge vor den Mündungen der großen Flüsse ihr Ende findet. Diese Inseln sind in O-Wanderung begriffen und haben meist einen großen O-Strand, auf dem sich junge kleine Dünen erheben und der bei Stürmen weitgehend überspült wird und ausgedehnte Muschelpflaster zeigen kann.

Die eigentliche, aus alluvialem Marschland bestehende Küste des Festlandes (nur an 2 Stellen der deutschen Küste, bei Dangast im Jade-Busen und bei Duhnen in der Nähe von Cuxhaven, tritt das Diluvium an die Küste heran) ist durch Deiche geschützt, vor denen sich meist noch ein Außen-deichland mit Halophyten befindet. Es wird an mehreren Stellen durch künstliche Landgewinnung im Watt vergrößert und schließlich neu eingedeicht. Bei Ebbe, wenn nur die Priele und tieferen Teile des Watts noch unter Wasser sind, verschiebt sich die Küste bis an den Sandstrand der Inseln. Unter günstigen Bedingungen entstehen auf dem Watt neue Inseln durch Dünenbildungen, und so sind in jüngerer Zeit Memmert, Mellum und Trieschen aus dem Meere emporgewachsen. Die Küstenlinie läuft der Inselkette nicht immer parallel, im Emsmündungsgebiet ist der Dollart im XIII. Jahrhundert eingebrochen, O von Wangerooge der Jade-Busen im XVI. Jahrhundert.

Im Bereiche der Mündungen von Weser und Elbe ist die Inselkette unterbrochen. Nur Watt und Sandbänke liegen vor der deichgeschützten Küste. Neuwerk macht eine Ausnahme, ist aber mit seiner Dünenlosigkeit nicht dasselbe wie die übrigen Inseln, sondern ein Stück alten Marschlandes. Ebenso sind auch die Halligen Ruinen, die künstlich zu halten versucht werden, während gerade N der Elbe in Dithmarschen besonders erfolgreich Wattboden in Marschland umgewandelt wird. Die äußeren der N-friesischen Inseln tragen wieder einen Dünenwall, unter ihnen ist Sylt die größte und enthält auch ältere Schichten, so Diluvium im Roten Kliff und Tertiär im Morsum-Kliff.

Mit Fanö hören die mit Texel beginnenden Inseln auf. Die Inselküste deckt sich somit mit den größeren Hubhöhen der Gezeiten, die weiter nach N immer mehr abnehmen. Die Küste springt von Esbjerg bis Blaavands Huk vor, und die Dünen laufen nun wieder am Küstensaum entlang und schließen als Nehrungen den Ringkjöbing-Fjord und den Limfjord beinahe ab. Am Bovbjerg tritt das Diluvium an die Küste heran, und der Strand ist mit vielen großen Steinen übersät. Die Dünen gehen weiter, mit einer kurzen Unterbrechung auf Agger-Tange, bis Hanstholm, dem aus einem Kreidekliff bestehenden NW-Kap. Nun folgt bis Skagen ein flacher Strand mit bald niedrigeren, bald höheren Dünen, die im Bulbjerg durch eine Höhe aus Bryozoen-Kalk der obersten Kreide (Danien) und durch das Kreidekliff des Svinkløv und die diluviale Hügelkette von Hirshals unterbrochen werden.

Die norwegische und schwedische Küste jenseits des Skageraks, soweit sie zur Nordsee zu rechnen ist, ist meist eine $\pm$ steile Felsküste aus alten kristallinen Gesteinen, vor der kleine Inseln, Schären und Untiefen liegen. Flacher Sand- oder Geröllstrand ist in der Regel nur örtlich im Inneren von Buchten und Fjorden anzutreffen.

Es bleibt noch das winzige Küstenstück zu erwähnen, das Helgoland umgibt, wo vor der Buntsandstein-Steilküste der Insel eine breite tangbewachsene Brandungsterrasse liegt und dann erst das tiefere Wasser kommt. Die Düneninsel im NO von Helgoland liegt auf einer Klippenzone aus Muschelkalk und Kreide, und ihr Sandstrand ist nur oberflächlich und nicht so tief reichend wie bei den friesischen Inseln:

Zusammenfassung: Die Nordseeküsten auf der englischen und skandinavischen Seite sind steil, im N zunächst ohne Vorstrand, der sich aber an den schottisch-englischen Küsten dort ausbildet, wo weicherer Material das Kliff zusammensetzt. Hier und dort schieben sich alluviale Dünenküsten dazwischen, die auf Jütland überhandnehmen und die Steilufer stark zurücktreten lassen. Die S-Küste ist praktisch völlig alluvial, nur ganz selten erreicht das Diluvium unmittelbar das Meer. Dünenketten liegen als Außensaum auf dem Marschland. Im W-O-Verlauf löst sich die Küste in Düneninseln, Watt und Marschland auf, und eine entsprechende Ausbildung zeigt sich an der jütischen Halbinsel S von Blaavands Huk. Nur im inneren Winkel der Deutschen Bucht fehlen die Düneninseln, und das Marschland ist stellenweise noch in Inseln zerrissen. In dieser Küstenverteilung kommt das Aufsteigen der Länder im N und das Absinken im S zum Ausdruck.

Das Becken der Nordsee

Die Nordsee hat eine fast rechteckige Form (Fig. 12), deren S-Seite von der belgischen, holländischen und deutschen Küste gebildet wird. Im W liegt Großbritannien und im O Skandinavien und Jütland, während als N-Grenze im allgemeinen die 200 m-Tiefenlinie angenommen wird. Abgesehen von der Norwegischen Rinne, die sich an der norwegischen Küste entlang zieht und meist über 200 m tief ist (vor dem Oslofjord soll sie sogar Tiefen von über 800 m erreichen), läßt sich die Nordsee in 3 annähernd gleich große Teile zerlegen, von denen der nördliche zwischen 200 und 100 m tief ist, der mittlere zwischen 100 und 60 m und der südliche weniger als 60 m. Der nördliche Abschnitt scheint verhältnismäßig eben zu sein, soweit es sich aus den Lotungen erkennen läßt, nur wenige Gebiete gehen unter 160 m hinunter. Einige Erhebungen sind eingeschaltet, und von N nach S sind die wichtigsten (Fig. 12): die Unstbank (82 m), Wikingbank (73 m), Bergen- oder Altwikingbank (91 m), Fortymilesgrund (82 m), Bressay Shoal (95 m) und Halibutbank (88 m), und 3 bedeutendere Einsenkungen kommen vor: Bressay Ostgrund (175 m), SW Bressay Shoal (190 m) und der Fladengrund an der S-Küste (170 m). Die S-Grenze dieses Abschnittes verläuft ungefähr NO → SW und schneidet in den 58.° N etwa in der Mitte zwischen Dänemark und England.

Im mittleren Abschnitt wird der Boden anscheinend unruhiger, und eine große Zahl von Bänken sind von den Fischern mit Namen belegt worden. Als wichtigste sind zu nennen: die Klondyke-Bank (mit diesem Namen bezeichnen die englischen und schottischen Fischer nicht dieselbe Bank), Korallenbank, Lingbank, NW-Flach, W-Bank, Mittelbank, O-Bank, Swatch-Way, Turbotbank, Long-Forties, das Gat und die Große Fischerbank. Bemerkenswert unter den wenigen Einsenkungen ist das kleine Devils-Hole mit 212 m Tiefe in einer Umgebung von rund 90 m. Leider sind Form und wirkliche Größe nicht genau bestimmt, so daß eine Deutung dieses merkwürdigen Gebildes schwierig ist. Die S-Grenze der Mittelzone läuft der N-Grenze annähernd parallel und schneidet den 56.° N wieder ungefähr in der Mitte.

Den südlichen Abschnitt beherrscht als wichtigste Bank die Doggerbank (13 m); ferner gehören hierher die Kleine Fischerbank, die nördliche und südliche Schlickbank, Monkeybank, Jütlandbank, Silver Pitt, Austerngrund und all die Bänke und Gründe und Riffe in flachem Wasser vor den Küsten.

Die Nordsee ist also ein langsam nach S ansteigendes Becken mit wechselnd bewegtem Relief, das sich im einzelnen nicht ohne weiteres deuten läßt, da hierzu immer noch zu wenig Tiefenzahlen vorliegen, doch

- 18 Long Forties (Lange Vierzig) und
- Turbot-Bank,
- 19 Außen-Bank,
- 20 Jubilee-Bank,
- 21 Holmen-Grund,
- 22 Jütland-Bank,
- 23 Turbotbank (östliche),
- 24 Kleine Fischerbank,
- 25 Monkeybank,
- 26 Nördliche Schlick-Bank,
- 27 Südliche Schlick-Bank,
- 28 Große Fischerbank,

- 29 Das Gat,
- 30 Devils Hole,
- 31 Dogger-Bank,
- 32 Outer Silver Pit, [Bank,
- 33 Swarte-, Broken-, Well-, Ower-, Leman-,
- 34 Tiefe Rinne (S davon: Die Hoofden),
- 35 Austern-Grund,
- 36 Vileland-Riff,
- 37 Borkum-Riff,
- 38 Helgoland-Grund,
- 39 Horns Riff,
- 40 Weiße Bank.

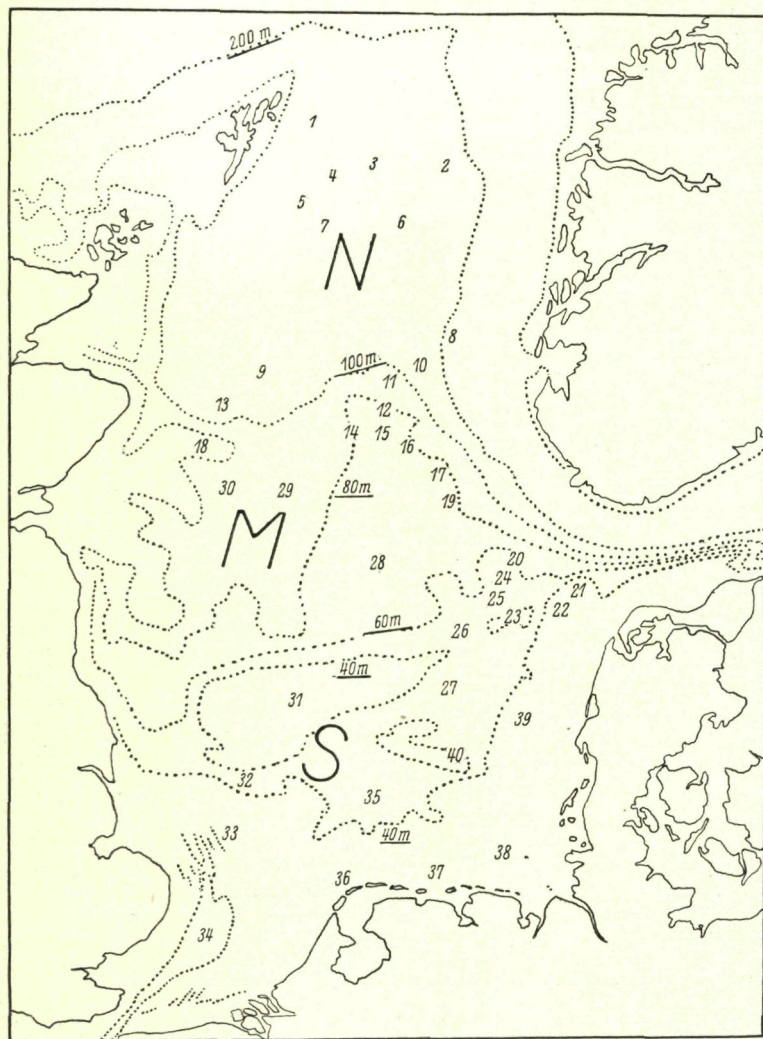


Fig. 12. Übersichtskarte über die Bänke und Tiefen der Nordsee.
N Nordabschnitt; M Mittelabschnitt; S Südabschnitt.

- 1 Unstbank,
- 2 Vikingbank,
- 3 Bressay Ost-Grund,
- 4 Bressay-Grund,
- 5 Forty Mile-Grund,
- 6 Bergen- oder Alte Vikingbank,
- 7 Bressay-Shoal,
- 8 Utsire-Loch,
- 9 Fladen-Grund,

- 10 Klondyke (der schottischen Fischer),
- 11 Korallenbank,
- 12 Ling-Bank,
- 13 Halibut-Bank,
- 14 Nordwest-Flach,
- 15 West-Bank,
- 16 Mittelbank,
- 17 Klondyke (der englischen Fischer),
- (18 bis 40 s. S. I. d 20)

scheint manches auf ein ursprünglich glaziales Relief und einiges auf tektonische Erscheinungen hinzudeuten.

Deutlicher lassen sich derartige Beziehungen in den *küstennahen Teilen* erkennen. So gleichen geringere Tiefen im ersten und zweiten Abschnitt die unruhige schottische Küste aus. Die Shetlands und Orkneys liegen auf einem Sockel, dessen Grenze fast N $\rightarrow$ S verläuft und der den Firth of Moray und die Einbuchtung der Küste mit dem Firth of Forth ausgleicht. Auch die Humber-Mündung, The Wash und die Themse-Mündung prägen sich nur unvollkommen in den Tiefenlinien aus. Auffällig ist dagegen die Tiefe Rinne vor der englischen Küste und die langen Rücken im W-Ende des Kanals, in der Themse-Mündung, vor Norfolk und in den Hoofden vor der belgischen Küste. Ihr paralleler Verlauf und ihr Auftreten vor dem Kanal und in der Themse scheint auf Gezeitenströmungen hinzuweisen, wie vielleicht auch die Tiefe Rinne eine Auskolkung darstellt. Die Riffe an der holländischen, deutschen und dänischen Küste sind meist unreine Gründe oder Steingründe, die wohl als diluvialer Restkörper aufzufassen sind.

Die Sedimente der Nordsee

Der Boden der Nordsee besteht in der Hauptsache aus Sanden verschiedenster Korngröße. Feinste Schlamm und Schlicke im engeren Sinne kommen nur selten und dann meist in größeren Tiefen vor. Was in der Regel als Schlick bezeichnet wird, ist meist ein feinkörniger Sand, der durch seinen Gehalt an sehr feinem Sand oder Staub im feuchten Zustand seine Bindigkeit erhält. Über Einzelheiten und weitere Komponenten wird im letzten Abschnitt berichtet werden.

Die *Norwegische Rinne* ist als starke Vertiefung gegenüber dem übrigen Gebiet solch ein Sammler des Feinsten, das immer in die größeren Tiefen abwandert, weil dort die geringsten Strömungen herrschen und weil es in den flacheren Gebieten immer wieder aufgewirbelt wird. So treffen wir dort überwiegend feinkörniges Material, Schlick, Schlamm und Mudd mit einem größeren Gehalt an organischer Substanz. APSTEIN hat bis zu 25%, ja ausnahmsweise bis zu 40% beobachtet. Foraminiferen sind verhältnismäßig reichlich (bis 2% *Uvigerina pygmaea*, *Textularia variabilis*, *Bulimina* u. a.), und zum letztenmal gegenüber der Ostsee kommen Kokkolithen vor. An 2 Stellen am westlichen Anstieg der Rinne auf der Breite von Stavanger (Utsier-Loch) und etwas S davon kommen große Steine in der Rinne vor, ohne daß der Boden ansteigt, im Utsier-Loch sinkt er sogar örtlich um 70 m ab.

Im *nördlichen Nordseeabschnitt* (Fig. 12 N) tiefer als 100 m liegen auf den bei den Bodenformen erwähnten Bänken und bei mehreren Erhebungen ohne Namen wieder zahlreiche größere Steine, so daß hier wahrscheinlich anstehendes diluviales Material ausgewaschen wird; denn die Bodenströme vermögen nur das feinere Material, nicht aber die großen Steine, die gelegentlich in die Fischnetze kommen, zu bewegen. Im übrigen herrscht feiner Sand vor, der vielfach schlickige Beimengungen hat und im Fladengrund z. B. in reinen Schlick übergeht. An der W-Küste, an den Shetlands, Orkneys und vor N-Schottland werden die Sedimente gröber, z. T. steinig, und die Muscheln können einen wesentlichen Anteil an der Gesamtmenge haben.

Im *Mittelabschnitt* (Fig. 12 M), 100 bis 60 m, nehmen die Steingründe und unreinen Gründe am Rande der Norwegischen Rinne zu. Sie fehlen aber auch nicht auf der W-Seite (z. B. Turbot-Bank) oder in der Mitte. Auf diesen Blöcken haben sich gelegentlich große Tangmassen angesiedelt (Große Fischerbank). Der feine, zum Teil schlickige Sand herrscht weiter vor, doch die gröberen Sande haben an Ausbreitung gewonnen und zeigen farbige Bestandteile, die sogen. Sprenkeln. Nennenswerte Schlickgebiete sind nicht vorhanden. Die Große Fischerbank besteht meist aus feinem Sand, dem an einzelnen Stellen etwas Schlick beigemischt ist. Muscheln und Steinchen fehlen meist. Sie treten erst wieder in den gröberen Sedimenten im O auf. An der schottisch-englischen Küste sind zwischen den Klippen und Untiefen meist gröbere Sande mit Steinen und teilweise auch mit Muscheln und anderen Schalen anzutreffen. Vor den Flußmündungen und Buchten bilden sich Sandbänke und Barren von wechselnder Gestalt und aus wechselndem Material.

Der *Südabschnitt* (Fig. 12 S), flacher als 60 m, beginnt mit der Doggerbank, auf der einige Riffe, also grobsteiniger Grund, vorkommen. Die Steingründe, die bisher die Norwegische Rinne begleitet haben, verlaufen nunmehr senkrecht dazu und $\pm$ parallel mit der Küste Jütlands. Mehr als bisher treten nun auch in der breiten Zone die Steingründe vor der englischen Küste auf und enthalten z. T. 40% und mehr Steinchen von über 10 mm Größe. Abgesehen von den Hoofden kann man nur ungefähr die Hälfte dieses Abschnittes und zwar das Mittelgebiet als in größerem Maße steinfrei bezeichnen. Hier kommen feine bis sehr feine Sande und Schlicks vor.

Die Doggerbank, die reiche Fischgründe enthält, ist verhältnismäßig gut bekannt und bildet die NW-Grenze. Die Steingründe auf ihrem höchsten Teil wurden bereits erwähnt, und auf den nur 13 m tiefen Flachs steht bei Sturm eine Brandung, die den Boden in Mitleidenschaft ziehen muß. Er besteht in den übrigen Abschnitten der Bank hauptsächlich aus feinem, grauem Sand, der gelegentlich etwas schlickig ist und viele Schalen und Schalenreste enthält, daneben teilweise auch Sprenkel. Berühmt ist die Doggerbank durch die zahlreichen Knochen und Zähne diluvialer Säugetiere, die dort gefischt wurden und uns beweisen, daß hier diluviales Material freigespült wurde. Außerdem ist von der Doggerbank, wie von manchen anderen Stellen des S-Abschnittes, Torf bekannt geworden, »Moorlog«, der sich nach seinen Pflanzenresten und Pollen als postglazial erwiesen hat und uns zeigt, daß die Nordsee damals trocken lag. Ebenso kommen mit dem Moorlog noch Seichtwasserschichten und wohl auch Landabsätze vor.

An die Doggerbank schließen sich nach NO die Kleine Fischerbank, die Monkey-Bank und die Turbot-Bank an, die wechselnden Boden zeigen; bald ist er grob und führt Steine, bald feinen roten Sand und in den tieferen Teilen schlickigen Sand. Auch Torf ist hier gedreht worden. Die dann folgende Jütlandbank weist verschiedenfarbigen Sand auf, der vorwiegend grob ist und bis zu Kies und Steinchen enthalten kann. Schlicks fehlen hier ganz. Auch S der Jütlandbank kommt Torf vor.

Besonders charakteristisch in bezug auf die Sedimente sind zwischen diesen Sand- und Steinerhebungen die Nördliche und Südliche Schlickbank, die schwache Einsenkungen mit besonders feinkörnigem Material

darstellen. Sehr feine Sande und Schlicke kommen hier vor und beherbergen eine reiche Fauna.

S der Doggerbank senkt sich das Outer Silver Pit als schmale Rinne um rund 30 m gegenüber seiner Umgebung ein und sammelt auf seinem Grunde wieder feines Material, wie Schlicke und feinste Sande. S und SW gibt es noch mehrere kleine Senken, von denen das Coal Pit insofern besonderes Interesse hat, als dort bei Lotungen wiederholt Kohlestückchen festgestellt worden sind und man vermutet, daß es sich hier um einen Ausstrich des Yorkshire-Kohlenbeckens handelt. Es muß dabei aber berücksichtigt werden, daß sich in den Sedimenten so reichlich befahrener Meere überall Kohlestückchen finden und in örtlichen Vertiefungen zusammengeschwemmt werden können.

Weiter nach S schließen sich eigenartige, lange und schmale Rücken an, die Swarte-Bank, ferner die Leman-, Ower-, dann die Well- und Broken-Bank, die 15 bis 20 m ihre Umgebung überragen. Die Swarte-Bank besteht aus dunklem, nahezu schwarzem Sand und hat daher ihren Namen. In den tieferen Gebieten bis zu den anderen Bänken liegen Schlicke und schlickige Sande, die beim Anstieg in rote und graue Sande mit reichlichen Muschelresten übergehen. Ähnliche Bänke liegen vor der Themse und im S-Teil der Hoofden bis zum Kanal. Die Varne- und die Colbart-Bank enthalten in ihrem Kern Juraschichten, und daraus schließt man, daß auch die übrigen Bänke ein Gerüst aus anstehendem Gestein enthalten müssen. Ich halte jedoch die ältere englische Ansicht für richtiger, daß die Bänke hauptsächlich von starken Gezeitenströmungen als Sandbänke aufgehöhht worden sind. Gerade das Vorkommen von ähnlichen Bildungen in der Themsemündung spricht für Strömungswirkung.

Zwischen diese Bänke schiebt sich die Tiefe Rinne, der tiefste Teil der Hoofden, ein, die auffälligerweise nur ganz örtlich Schlick enthält, sonst aber aus Sand und Schalen besteht. Das spricht für eine kräftige Strömungswirkung bis zum Boden, der sie wohl ihre Entstehung verdankt. Auch die höheren Gebiete sind fein- bis grobkörnige Sande, bald heller, bald dunkler, in die sich gelegentlich Kies und Steine, ferner Kohlestückchen und Sprengel mischen. Muscheln und andere Schalen fehlen nicht, besonders in dem feinen Material, das schlickig werden kann. Im südlichsten Teil der Kanalmündung wird der Boden vom starken Gezeitenstrom ziemlich reingefegt und ist felsig. Er besteht aus Kreide mit aufliegenden Steinen, Kies und Sand sowie mit Schalen verschiedener Tiere. Von den Hoofden bis Helgoland ist der Boden gleichmäßig wechselnd, einzelne Riffe bzw. Steingründe erstrecken sich von den Inseln nach NW. Die beiden wichtigsten sind das Vlieland- und das Borkum-Riff. Im übrigen liegt längs der Küste ein ziemlich feinkörniger Sand, der in etwa 20 m Tiefe wesentlich gröber und oft auch farbig wird. Das ist die Zone des Küstenstromes. Später mit zunehmender Tiefe wird er wieder sehr viel feiner und enthält im Austergrund und in den Ausläufern der Südlichen Schlickbank Schlickanteile. Im innersten Winkel der Deutschen Bucht ist der Boden vor den Flußmündungen sehr schlickig und muddig und ist noch stärker besiedelt als die Schlickgebiete draußen.

Vor der N-friesischen und dänischen Küste ziehen lange Zonen von Riffgrund, also Steinzonen entlang, die mit feinen hellen, grauen und dunk-

len Sanden abwechseln. Es bleiben noch die Watten, die sehr feinkörnig und schlickig sein können, aber auch rein sandig in den verschiedensten Körnungen.

3. Die heutige Ostsee

Die Küsten der Ostsee

Wenn wir die Nordsee bei Kap Skagen aufnehmen und die Ostsee in den Belten und dem Sund beginnen lassen, so bleibt das *Kattegat* als Zwischenmeer übrig, das aber wegen der Bodenformen und der Küstenausbildung mehr zur Ostsee zu rechnen ist. Die schwedische Küste des Kattegats stellt eine untergetauchte, felsige Rundhöcker-Landschaft dar, die uns als kleine, nackte Inseln, als Schären, vor einer buchtenreichen Küste erscheint. Sie bestehen aus kristallinen Gesteinen, aus Gneisen, Graniten, Porphyren, aus *Gabbro*, Diabas und Diorit und enden etwa in der Gegend von Varberg, wo nun glaziale Ablagerungen und alluviale Bildungen in Form von Flugsand und Strandwällen der Küste ruhigere Formen geben. Am Kap Kullen kommt das alte kristalline Gebirge noch einmal hervor, und S davon schneidet die Küste an mehreren Stellen unter dem Diluvium rhätische, kohleführende Schichten und silurische Schiefer an.

Auf der dänischen Seite beherrschen S von Skagen wie am Skagerak Dünen die Küste. S von Aalbæk hören sie zunächst auf, und das bebaute Land, zu dem sich später Wälder gesellen, kommt bis ans Meer. Gelegentlich steigt das Land zu Hügeln an, die dann steiler gegen den Strand abfallen. Oberflächlich ist das meiste hier Diluvium, doch in den Ufern treten von der Kreide Obersenon und Danien, dann Paleozän, ganz untergeordnet auch Eozän, ferner Oligozän und Miozän in dieser Reihenfolge von N nach S auf. Die Küste wird von einigen tiefen Fjorden unterbrochen, von denen der Limfjord von der Nordsee durchzieht, und vor ihr liegen Steinriffe, Sandbänke und Inseln. Den Abschluß des Kattegats nach S bilden die dänischen Inseln: Fünen, dessen flache N-Küste langsam untertaucht, und Seeland mit einer Steilküste aus oberster Kreide und Diluvium und zwischengeschalteten, flachen Streifen.

Die übrigen Küsten der dänischen Inseln leiten schon zur *Ostsee* hinüber. Seeland zeigt an den anderen Seiten das gleiche Bild wie an der N-Seite. Auf Møen bilden Schichten der oberen Kreide eine bis zu 132 m hohe Steilküste mit einem steinigen Vorstrand. Die S-Küsten von Laaland und den übrigen dänischen Inseln sind im allgemeinen niedrig und wie das ganze Gebiet mit diluvialen Material oberflächlich bedeckt. Darunter liegt älteres Tertiär. Die Festlandsküste ist zunächst eine Fördenküste, die ihren Verlauf dem glazial geformten Untergrund verdankt, in dem die Förden meist den Rinnenseen des Baltischen Höhenrückens entsprechen. Das Meer hat dann Kliffe in die aus Moränen bestehenden Erhebungen eingeschnitten und aus dem Material einen sandigen Vorstrand gebildet, auf dem häufig kleinere und größere Steine vorkommen können. Bei dem wechselnden Relief des Landes sind andere Küstenstrecken wieder niedrig; auch die Insel Fehmarn ist im allgemeinen niedrig, und ihre W- und N-Küsten sind eingedeicht.

Von Warnemünde an treten wiederholt Dünen auf, die mit Wald abwechseln, und die schmale Halbinsel Zingst setzt sich noch 9 km in der bei niedrigem Wasserstande trocken fallenden Sandbank »Der Bock« fort. Vor der Küste liegen Rügen und Hiddensö, die Steilküsten aus Kreide (Senon) bzw. Geschiebemergel haben und daneben flache, sandige oder steinige Küsten. So sind die einzelnen Inselkerne Rügens durch Nehrungen zusammengewachsen. Das Odermündungsgebiet mit Usedom und Wollin ist flach, und an den Küsten treten wieder Dünen auf. Hier beginnt die Ausgleichsküste, bei der alle früheren Buchten und Haffe durch Nehrungen zu Seen geworden sind und die Küste einen fast geradlinigen Verlauf bekommen hat. Die Dünen sind teilweise bewaldet und fallen oft ziemlich steil ab. Die Nehrungen lehnen sich an einige steile Diluvialkerne an, in denen auch noch Tertiär stecken soll, wie Jershöft und Rixhöft. In die tiefe Danziger Bucht wird von Rixhöft aus die schmale dünenbesetzte Halbinsel Hela vorgeschoben, während die Küste nach S abbiegt und zunächst noch ziemlich kahl ist. Bei Zoppot und Danzig treten die bewaldeten diluvialen Höhen ans Meer und bilden wieder einen Anlehnungspunkt für einen langen Dünenzug. Hier beginnt das flache, junge Weichseldelta, das auch die W-Küste des Frischen Haffs bildet. Unmittelbar an der See entlang zieht sich von Oliva her ein Dünenstreifen, der als Frische Nehrung das Frische Haff abschließt und sein Ende an dem mit Steilküsten versehenen Samland findet. Diese Steilküsten bestehen aus Tertiär und Diluvium und verflachen sich gegen O, wo dann die Kurische Nehrung mit ihren Dünen bis nach Memel folgt.

Dünen begleiten auch die litauische und lettische Küste, die überaus einförmig und niedrig ist. Ein Teil der Dünen ist bewachsen, und hinter ihnen liegt angebautes Land und Wald. Auch im Riga'schen Meerbusen bleibt die Küste zunächst niedrig und sandig, stellenweise treten Hügel und einige spärliche Wälder auf. Dann kommt im S-Teil die Mündung der Düna mit 2 Armen, und weiterhin folgen mäßig hohe Sanddünen, die allmählich flacher werden, bis die Küste schließlich steinig ist. Bis hierhin ist überwiegend alles Diluvium und Alluvium.

In der Pernauer Bucht wird die Küste sumpfig und bildet dann viele kleinere Buchten, in denen zahlreiche Klippen, die nur teilweise aus dem Wasser herausragen, liegen und schon aus silurischen Gesteinen bestehen. Gegenüber von Ösel bilden diese Schichten niedrige Abhänge. Ösel hat eine unregelmäßige, meist flache, felsige Küste aus Silurkalken und Mergeln, die auch den eigentlichen Strand vielfach übersäen. An einigen Stellen treten höhere Steilküsten aus dem gleichen Material auf, in die von der Brandung schöne Hohlkehlen eingeschnitten sind. In einigen Buchten der Insel liegen Heilschlammte, die, ebenso wie die von Pernau, eine alte Berühmtheit haben. Die Küsten von Dagö sind flacher, vielfach sandig und steigen im NO bis auf 27 m in bewaldeten Hügeln an. Auch bei ihnen ist der eigentliche Kern Silur. Der Festlandstrand am Moon-sund, der Dagö abtrennt, ist sandig und tonig, und hier und dort treten Silur-Kalkgerölle zutage. An vielen Stellen ist die Küste bewaldet.

An der Insel Dagö beginnt der *Finnische Meerbusen*, dessen S-Küste von dem 50 bis 60 m hohen Steilrand des altpaläozoischen Tafellandes gebildet wird und unter dem Silur noch das Kambrium zeigt. Über den

alten Gesteinen liegen allgemein glaziale Lehme und Sande, die vielfach Wald tragen. Im W sind in die kambrischen Sandsteine durch die Brandung Grotten und Tore eingeschnitten. Nach O hin verflacht sich die Küste.

Die N-Küste des Finnischen Meerbusens ist sehr viel zerschnittener und unruhiger und zeigt eine typische Schärenlandschaft, die bis zu 30 km breit werden kann. Tausende kleinerer und größerer nackter oder bewaldeter Felsinseln liegen vor becken- oder fjordartig gestalteten Buchten. Die Inseln und Untiefen setzen sich auch bei der Umbiegung der Küste in den Bottnischen Meerbusen hinein in noch größerer Breite fort. An manchen Stellen der S-Küste Finlands ist ein flacher bis zu 500 m breiter Strand ausgebildet, auf dem man 2 Terrassen erkennen kann, die den *Littorina*- und *Ancylus*-Stadien der Ostsee entsprechen.

Der Felsgrund ist teilweise von glazialen und postglazialen Bildungen zugedeckt, aber gerade am Ufer ist der Untergrund häufig freigespült. Im O des Finnischen Busens herrschen Granite und Diorite vor, dann treten Gneise und örtlich auch kristalline Kalke sowie einige andere Gesteinsarten hinzu. Hier sind wie an den übrigen Küsten des Grundgebirges die Formen der Inseln, der Verlauf der Wasserstraßen usw. weitgehend durch Sprünge und Klüfte bedingt, die durch das Eis ausgeräumt worden sind. Im W nimmt der durch seine zonar gebauten großen Feldspäte auffällige Rapakiwi einen wichtigen Platz unter den Gesteinen ein, und auch die Ålandsinseln vor den Schären von Åbo sind daraus aufgebaut. Diese Inselgruppe besteht aus einigen tausend niedrigen felsigen Inseln und Inselchen, von denen nur etwa 90 bewohnt sind. Die kleinen sind kahl, die größeren $\pm$ bewaldet.

Die O-Seite des *Bottnischen Meerbusens* bleibt ähnlich wie bisher, nur die Breite des Schärenstreifen wird meist sehr viel geringer und kann fast völlig verschwinden. Zu den Gesteinen treten auch alte Schiefer und Sandsteine. Bei Uleåborg sind die Inseln sandig, niedrig und größtenteils mit Wald bedeckt.

Am N-Ende und dann an der W-Seite des Bottnischen Busens nehmen die Schären zunächst zwischen Haparanda und Piteå wieder stark zu und sind hier ebenfalls bewaldet. Gneise und verwandte Gesteine bilden den Untergrund. Später hören die Schären vielfach auf, bewaldete Berge kommen bis ans Meer, das in mehreren Fjorden (Fjärde) ins Land dringt. In der Breite der Ålandsinseln, vom S-Ende der *Gefle-Bucht* an, setzen die Schären in größerer Breite wieder ein und ziehen bei Stockholm vorbei. Der Rapakiwigranit kommt an der schwedischen Küste nicht mehr vor. Dafür sind neben den Gneisen andere Granite zu finden, ferner Diorite und Dioritschiefer, Hälleflinta und, örtlich, Kalke und Gabbro. Weiter nach S nimmt die Zahl der Inseln stark ab; doch ist die Küste selbst sehr stark zerschnitten, und tiefe Buchten greifen tief in das niedrige, aber felsige Land ein. Die Gesteine bleiben in der Hauptsache dieselben, wenn auch in verschiedener Verteilung.

Am *Kalmarsund* wird die Küste gleichförmiger. Die glaziale Decke wächst, und auf einigen dicht vor der Küste liegenden kleinen Inseln sind kambrische Schichten entwickelt, wie wir sie von Öland unter dem Silur kennen. Auch Strandwälle aus der *Ancylus*- und *Littorina*-Zeit treffen wir hier an. Weiter S, an der N-Küste der *Hanöbucht*, bekommt

die Küste wieder einen Schärenkranz, der gleichzeitig ein Zurücktreten der quartären Decke und ein Zunehmen des zutage tretenden Felsuntergrundes bedeutet (Gneis, Granit, Diorite und Diabase). Die eigentliche Festlandsküste ist dabei bewaldet.

Die W-Küste der Bucht, die schon zu *Schonen* gehört, ist frei von Schären und sehr viel gleichförmiger. Vor Kristiansstad zieht sich als Küste ein großes Flugsandfeld hin, das die hier weiter landeinwärts auftretenden Kreidebildungen nicht bis an die Küste kommen läßt. Das Grundgebirge taucht hier unter, und so ist auch die S- und W-Küste von *Schonen* einförmig, meist ziemlich niedrig, wenn auch Steilküsten nicht ganz fehlen. Im größeren Ausmaße kommen jetzt Sandstrand mit Steinen und ohne solche vor. So liegen bei Sandhamaren und Ystad Dünen neben glazialen Ablagerungen. Bei Simrishamn ist das ältere Paläozoikum wieder als kambrische Sandsteine und silurische Schiefer, Kalke und Mergel am Ufer aufgeschlossen. Die jüngere Kreide als Saltholmskalk ist bei Trälleborg zu finden. Die Hauptsache ist hier überall das Quartär, das Diluvium und Postdiluvium.

Die Insel *Öland* hat sehr ruhige Küsten; am Kalmarsund sind die Ufer zum großen Teil versumpft, zum kleineren steil und aus kambrischen und silurischen Schichten gebildet. Auf der O-Seite tauchen die schwach geneigten Silurkalkschichten unter und bilden so einen flachen Felsstrand mit $\pm$ mächtiger Sandbedeckung. In geringer Entfernung landeinwärts von der Küste sind die Strandwälle der *Ancylus*- und der *Littorina*-Zeit anzutreffen, und N von Borgholm ist aus jener Zeit ein prächtiges Kliff in den Silurschichten erhalten. Entsprechende Spuren der ehemaligen Ostseestadien sind auf *Gotland* zu finden, das aus obersilurischen Kalken und Sandsteinen besteht und an der W-Seite meist steile Kalkkliffe, an der O-Seite dagegen häufiger flachen Strand hat. *Bornholm* hat im S in größerer Ausdehnung einen sandigen, $\pm$ steinigen Strand, und hier ist das Mesozoikum in dem Steilufer aufgeschlossen. Der Hauptblock der Insel besteht aus Granit mit steil abfallenden Felsen, die an manchen Stellen durch Klüfte zerlegt und, von der Brandung und Verwitterung bearbeitet, die seltsamsten Formen aufweisen. In den Buchten hat sich häufig ein Sand- oder Geröllstrand in kleinerem Ausmaße bilden können.

Zusammenfassung: N des Finnischen Meerbusens auf der O-Seite der Ostsee und N von *Schonen* auf der W-Seite herrscht die aus Grundgebirge bestehende Schärenküste vor. Im S schließen sich die Kliffküsten aus kambrischen und silurischen Schichten an, die in den baltischen Staaten und auf den Inseln Dagö, Ösel, Gotland und Öland besonders gut ausgebildet sind, an der schwedischen Festlandküste jedoch nur undeutlich in Erscheinung treten. Dann folgen weiter nach S die Küsten, in denen die Schichten des Mesozoikum und des Tertiärs in Steilküsten gelegentlich unter dem Diluvium hervorkommen. Häufig jedoch bestimmen alluviale Sande in Form von Nehrungen und Dünen zusammen mit anderen jüngsten Bildungen die heutige Küste.

Das Becken der Ostsee

Meist läßt man die Ostsee mit den Durchlässen an den dänischen Inseln beginnen; wir rechnen, wie bei den Küsten,

auch das Kattegat als Zwischenmeer hinzu, denn der Meeresboden wird dort plötzlich flacher, und nur eine Rinne mit fast 90 m Tiefe zieht sich an der schwedischen Küste entlang (Fig. 13). Große Teile sind weniger als 20 m tief, und im N anschließend nehmen die Tiefen bis auf 34 m zu. Die Rinnen des Großen und Kleinen Beltes und des Sundes weisen sehr wechselnde Tiefenzahlen auf, im Großen Belt sind 58 m Höchsttiefe gemessen. In dem Teil der W-Ostsee, der sich an diese Straßen anschließt, läßt sich noch ein altes Flußsystem nachweisen, das sich um einen Haupturstrom gruppiert und sich zwischen den dänischen Inseln fortsetzt. Die

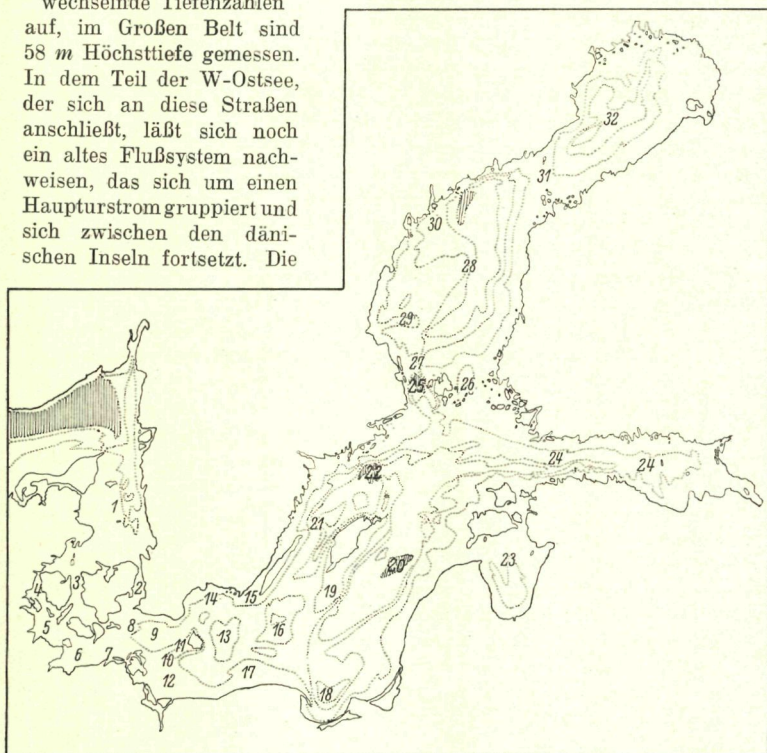


Fig. 13. Übersichtskarte über die Tiefen und Meeresteile der Ostsee. Die Tiefenlinien entsprechen 40 m, 80 m und 100 m Wassertiefe; die Gebiete von über 200 m Tiefe sind schraffiert.

- 1 Kattegat,
- 2 Øresund,
- 3 Großer Belt,
- 4 Kleiner Belt,
- 5 Kieler Bucht,
- 6 Mecklenburger Bucht,
- 7 Darß,
- 8 Möen-Bank,
- 9 Arkona-Tiefe,
- 10 Adler-Grund,
- 11 Rönne-Bank,

- 12 Oderbank,
- 13 Bornholm-Mulde,
- 14 Hanö-Bucht,
- 15 Kalmar-Sund,
- 16 Mittel-Bank,
- 17 Stolpebank,
- 18 Danziger Tief,
- 19 Hoborgbank,
- 20 Gotland-Tief,
- 21 Knolls Grund,
- 22 Landsort-Tief,

- 23 Riga'scher Busen,
- 24 Finnischer Busen,
- 25 Ålands-Tief,
- 26 Ålands-Inseln,
- 27 Süder-Quarken,
- 28 Bottnensee,
- 29 Finngrund,
- 30 Vänatlettsgrund,
- 31 Norder-Quarken,
- 32 Botten-Wiek.

eigentliche Ostsee mit ihren großen Buchten erreicht im Gegensatz zur Nordsee in verschiedenen Mulden wesentlich über 200 m Wassertiefe, im Landsorttief sogar 463 m.

Die erste Tiefe tritt N von Rügen als *Arkonatiefe*, O der Darßer Schwelle auf. Adlergrund und Rönnebank im SW von Bornholm sind die wichtigsten Höhen, zu denen sich vor der Odermündung die Oderbank gesellt. Die Rönnebank ist ein untergetauchter Teil von Bornholm, und von ihr sind untermeerische Wälder bekannt geworden. Der Adlergrund ist wegen seiner Gefahr für die Schifffahrt genauer untersucht worden und besteht aus diluvialen Material, das oberflächlich ausgespült ist. Die Oderbank dürfte, nach DEECKE, eine bei der *Littorina*-Senkung versunkene Insel mit Düne sein.

Jenseits Bornholm beginnt der *Hauptteil der Ostsee*, zu dem auch der Finnische Meerbusen gehört und tektonischer Entstehung sein kann. Aus dem Finnischen Meerbusen heraus zieht am S-Rand entlang eine Tiefenzone (110 m), die allmählich aus der O-W-Richtung in die S-Richtung umbiegt und sich dabei in zwei Arme teilt. Es schiebt sich die Insel Gotland dazwischen, sowie die Hoborgbank und die Mittel- und Stolpebank. Die westliche Rinne geht dicht an die schwedische Küste hinan, und unmittelbar an dem Anstieg liegt die Landsortsenke mit mehr als 400 m Tiefe. In der Fortsetzung dieser Rinne folgt jenseits der Mittelbank die ziemlich selbständige Bornholmer Mulde mit fast 100 m Tiefe. Der östliche Tiefenarm ist wesentlich breiter und gleichförmiger und weist als größte Tiefe das Gotlandtief mit 249 m und am S-Ende das Danziger Tief mit 109 m auf. Der Riga'sche Meerbusen zeigt eine eigene örtliche Einsenkung von 53 m.

Von den Erhebungen dürfte die an Gotland sich anschließende Hoborgbank einen silurischen Kern besitzen, und die Mittelbank, ähnlich wie die Inseln Gotland und Öland, aus flachgelagerten silurischen Schichten bestehen. Vielleicht ist die Stolpebank tektonisch etwas Ähnliches, wenn sie auch möglicherweise aus jüngeren Schichten aufgebaut ist. Die tiefsten Senken werden als Grabenbrüche aufgefaßt. Auffällig ist die verhältnismäßig große Tiefe der Danziger Bucht, die von etwas flacheren Gebieten umgeben ist. Im Zusammenhang ist auch die große Mächtigkeit des Diluviums im Weichseldelta zu erwähnen, so daß hier eine besonders stark abgesunkene Zone vorliegt.

Durch das Becken der Ostsee hindurch setzen verschiedene Endmoränenzüge (Fig. 7), deren Reste man noch glaubt erkennen zu können (E. BÜCHTING), und auch im Finnischen Busen scheinen glaziale Aufschüttungsformen hier und dort noch erhalten zu sein. Durch den Finnischen Busen zieht eine Verwerfung hindurch, welche die altpaläozoischen Schichten gegen die präkambrischen Gesteine auf der finnischen Seite verwirft. Als Fortsetzung des Finnischen Busens ist wohl die schwedische Seenzone aufzufassen.

Die Schwelle, auf der die Schären von Stockholm und Åbo und in der Mitte die Ålandsinseln liegen, bildet die Scheide gegen die *Bottensee*. Diese beginnt mit einer 237 m tiefen Rinne an der schwedischen Seite und erreicht nach einer starken Verflachung in der Mitte an der W-Seite des N-Teils die größte Tiefe der See mit annähernd 300 m. Hier sind wir schon ganz im finnisch-skandinavischen Schild, und wenn die Ufer und Inseln auch durchweg aus altem Grundgebirge, abgesehen von Diluvium,

bestehen, so weiß man doch, daß nördlich der Ålandsinseln silurische Kalke am Meeresboden anstehen und in den Spalten mancher Inseln kambrische Sandsteine vorkommen.

Zwischen Umeå und Wasa verengert sich das Wasserbecken wieder und verflacht sich gleichzeitig. Auch Inseln treten weiter draußen wieder auf, und mit dem Durchlaß der Norder-Quarken beginnt der am weitesten ausgesüßte Teil der Ostsee, die *Bottenwiek*, die ein ähnlich selbständiges Becken wie die Bottensee darstellt, aber nur 106 m Tiefe erreicht und wenig seitlich gelegene Tiefen aufweist.

Die Ostsee ist also etwas völlig anderes als die Nordsee; sie ist fast ganz abgeschlossen und aus einzelnen Becken zusammengesetzt, so daß von dem pliozänen Talzug kaum noch etwas zu erkennen ist. Die tektonische Anlage der einzelnen Becken dürfte, nach SEDERHOLM, bis in das Miozän, die Zeit der Hauptalpenauffaltung, zurückgehen. Soweit die Ostsee in dem mitteleuropäischen Schollenland, also bis Bornholm, liegt, ist sie flach. Dann beginnt die große Mulde in der Russischen Tafel, deren Schichten dem Skandinavischen Schilde aufliegen; sie ist durch große Inseln und Bänke wohl ähnlichen Baues charakterisiert. Der langgestreckte Finnische Busen liegt auf der Grenze und hat eine verhältnismäßig glatte S-Küste, wo die paläozoischen Gesteine anstehen und im N eine Schärenküste im Grundgebirge. Im Skandinavischen Schild folgen die beiden weitgehend tektonisch bedingten Mulden des Bottnischen Busens von Rücken mit Inseln begrenzt.

Die Sedimente der Ostsee

Die Sedimente des *Kattegats* richten sich, wie auch die der Ostsee, mehr als die der Nordsee nach den Tiefen (vergl. Fig. 13). Es kommt dabei weniger auf die wirkliche Tiefe als auf die tiefste Stelle eines Gebietes an, die meist als Schlammssammler dient. Dieser Schlamm ist verschieden gefärbt, je nach seinem Gehalt an organischer Substanz und nach der Möglichkeit, zu oxydieren. Die größeren Tiefen des Kattegats an der schwedischen Seite enthalten die feinkörnigen blauen Schlamme und schwarzen Schlicke, während die breite Fläche mit geringeren Tiefen W von Læsø und Anholt mehr Sande verschiedenster Färbung und hier und dort auch mit Sprenkeln und Steinchen aufweist. An manchen Stellen der Rinne liegen ebenfalls Steine und vor allem Muscheln.

In den *Belten* sind es entweder die örtlichen Senken oder die gleichwirkenden ruhigen Buchten, die einen schlickigen Boden haben. Daneben kommen Sande auf den etwas weniger tiefen Flächen und besonders dort vor, wo eine Einengung des Fahrwassers einen verstärkten Strom bis in die Tiefe wirksam werden läßt. So hat der *Öresund* zwischen Helsingør und Malmö nur wenig weiches Material, in der Hauptsache sind es Sande und Steinchen.

Die beiden großen deutschen Buchten, die *Kieler* und die *Mecklenburger Bucht*, sind ihrer abgeschlossenen Lage entsprechend hauptsächlich mit feinstem Material angefüllt; doch fehlen hier in den flacheren Zonen und Bänken Steine und Sande nicht, wie es in einem glazial beeinflussten Gebiet zu erwarten ist.

Die *eigentliche Ostsee* beginnt mit einer sandigen Zone auf der Darßer Schwelle; doch sobald in der *Arkona-Tiefe* die 40-*m*-Tiefenlinie überschritten ist, werden die Sedimente feinkörniger, schlickig und muddig. Das flachere Wasser vor der deutschen Küste, ferner der Adlergrund, die Rönnebank und Bornholm engen mit sandigen Flächen das Schlickgebiet ein. Der Adlergrund mit seinen Blöcken (bis zu 6 *cbm*) und seinen größeren Kiesen und Sanden zeigt das Extrem und weist auf den Ursprung der Sedimente, auf die glazialen Ablagerungen, hin. Eine schmale Tiefenzone mit schlickigen Ablagerungen zieht im N von Bornholm vorbei und führt in die *Bornholmer Mulde*, die bis zur Mittelbank reicht. Die Mittelbank ist sandig und mit Algen bewachsen, die Stolpebank im S ähnlich wie der Adlergrund steinig und grobsandig, und die Oderbank O der Odermündung feinsandig über Land- und Süßwasserablagerungen. Im weiteren Verlauf prägt sich die Zweiteilung des Beckens der Ostsee i. e. S. auch in der Schlickverteilung aus. An den Küsten ziehen Sandsäume hin, deren westlicher eine Brücke über die S-Spitze von Öland zur Mittelbank schickt, und dann geht ein geschlossener Zug über die Hoborgbank nach Gotland. Auch auf der Hoborgbank ist reichlicher Algenwuchs anzutreffen. Wie die Tiefen (nicht immer ist die 40-*m*-Tiefenlinie die Grenze, manchmal ist es die 60-*m*- oder schon die 20-*m*-Linie) so biegt auch das Schlickgebiet in der Danziger Bucht nach S aus und kommt nahe an das Ufer. Innerhalb der O-Rinne ragt O von Gotland eine Bank mit nur 26 *m* Wassertiefe auf, die als Moränenrest gedeutet wird, und führt Sand; gleich O davon liegt das *Gotland-Tief* mit fast 250 *m*, das das Feinste sammelt. In der Nähe dieser Bank und an mehreren anderen Stellen, so N von Knollsgrund (N von Öland), ist Silurkalk anstehend oder in großen Blöcken am Ostseeboden angetroffen worden. In der W-Rinne soll in Landsorttief der Schlick und Mudd 5 *m* mächtig sein. Die beiden getrennten Schlickgebiete beiderseits Gotland schließen sich N der Insel zusammen und ziehen in den Finnischen Busen.

Der *Riga'sche Meerbusen* hat keinen unmittelbaren Anschluß an die feineren Gebiete der größeren Tiefen. Sand und gelegentlich Steine herrschen in ihm vor, und erst in seiner Einsenkung wie in einigen Buchten liegen wieder die schlickigen, muddigen Ablagerungen. Hierher gehören u. a. die Heilschlamm von Pernau und Arensburg.

Der Schlickzug im *Finnischen Meerbusen* hält sich an die tieferen Teile und reicht fast bis Kronstadt. Im S geht er oft dicht an das Ufer hinan, während im nördlichen Schärengebiet der Boden sehr wechselt, vom Schlick über Sand und Steine bis zum Felsgrund. Auch einzelne Untiefen im Schlickgebiet weisen Sande und Steine auf und sind Teile eines Endmoränenzuges, der quer durch den Meerbusen zieht.

Schlick und Schlamm gehen in der offenen Ostsee bis dicht an die tausend Inseln der *Alandsgruppe* hinan. Zwischen den Inseln wechselt der Boden wie zwischen den Schären im Finnischen Busen. Die Strömungen sind hier maßgebend, in engen Durchlässen schaffen sie blanken Felsboden oder Steine mit $\pm$ größerem Sand, in stillen Buchten und in Senken mit ruhigerem Wasser kann sich Schlick absetzen.

In der *Bottensee* zeigt sich sehr klar wieder die Abhängigkeit der Sedimentverteilung von der relativen Tiefe. Der Schlick nimmt den

größten Raum ein und reicht bis dicht an die Küsten im O und W. Ein größeres Sand- und Steingebiet ist der Finngrund vor der schwedischen Küste und parallel damit verlaufen noch weitere Züge $\pm$ senkrecht zur Küste mit gröberen Sedimenten, die ihre schlickführende Umgebung überragen und wohl ältere glaziale Formen am Boden der See darstellen. Aus kleineren und größeren Steinen und aus anstehendem Fels ist der Väntalitsgrund vor Hernösand aufgebaut. An verschiedenen Stellen der Bottensee sind Kalke festgestellt worden, so besonders gleich N der Ålands-

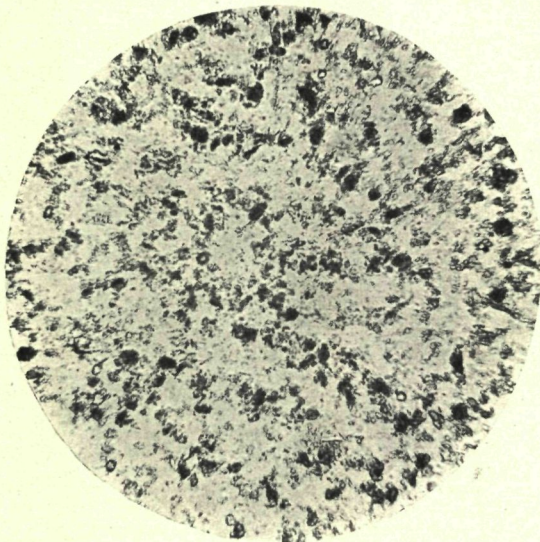


Fig. 14. Sehr feinkörniger Schlick aus der Ostsee aus 158 m Tiefe, S von Landsort-Tief aus der W-Gotland-Rinne ($58^{\circ} 16'5''$ N $18^{\circ} 6'5''$ O); 120:1.

inseln und vor der schwedischen Küste, wo man von den Silurkalken den Limbata- und den Ostseekalk angetroffen hat. Letzterer ist *nur* vom Boden der Ostsee anstehend bekannt.

Die Einengung bei Norder-Quarken geht mit einer Verflachung Hand in Hand und trägt entsprechend wieder Sande. In dem letzten Teil der Ostsee, der *Bottenwiek*, wiederholt sich das bisherige Bild. In dem südlichen, tieferen Teil liegt feinstes Material, auf dem flacheren nördlichen und östlichen Sand. Auch hier kommen unvermittelt in der Mitte des Schlickgebietes örtlich Sande und Steine vor, die wohl ebenfalls als glaziale Reste gedeutet werden müssen.

Überblicken wir die *ganze Ostsee* mit all ihren Buchten, so treffen wir in den größeren Tiefen und in einigen Buchten Schlicke, Schlamme und Mudde an, in den flachen Gebieten finden wir Sande. Der Unterschied gegenüber der Nordsee ist offensichtlich; dort stehen meist nicht die Tiefenunterschiede in dem Maße wie hier zur Verfügung, und so muß die Verteilung eine andere werden. Dennoch haben sie die gleiche Grund-

ursache in ihrer Verteilung: die Strömungen. In der Nordsee liegen die Gebiete feinsten Materials dort, wo Strömungen gegeneinander laufen und so ruhigeres Wasser schaffen, in der Ostsee und in der Norwegischen Rinne sind es die strömungsarmen Tiefen und dann die stillen, wenn auch meist flachen Buchten, in denen sich Schlick und Schlamm sammeln. Außerdem bewirken die Gezeiten in der Nordsee dauernde richtungswechselnde Ströme, die in der Ostsee fehlen, und die geringeren Tiefen

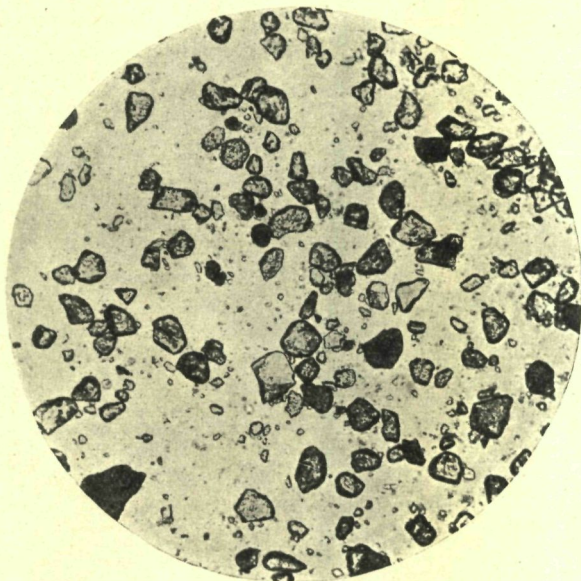


Fig. 15. Feinsandiges Sediment aus der Ostsee mit wenig Feinstem von der Mittelbank aus 47 m Tiefe ($55^{\circ} 26' 4''$ N $17^{\circ} 26' 0''$); 36:1.

der Nordsee gestatten den Stürmen, durch die Wellen den Boden zu beeinflussen. So haben wir in der Nordsee im Durchschnitt eine gröbere Bodenbedeckung als in der Ostsee.

4. Die Sediment-Arten

In den vorhergehenden Abschnitten sind immer wieder Bezeichnungen, wie Sand, Schlick, Schlamm und Mudd, gebraucht, ohne daß sie zunächst näher umschrieben wurden. Da für große Teile der Nordsee und ebenso für die Ostsee noch keine eingehenden systematischen Untersuchungen vorliegen, mußten die Angaben über die Sedimentverteilung vielfach auf Angaben von Seekarten fußen, und diese Angaben sind im einzelnen unter wissenschaftlichen Gesichtspunkten oft nicht exakt genug, um z. B. eine Trennung von Schlick, Schlamm und Mudd durchzuführen.

Deshalb wurden die Ausdrücke gelegentlich nebeneinander gebraucht oder durch den neutralen Ausdruck »Feinstes« umgangen.

Die wichtigsten Sediment-Arten in Nordsee und Ostsee sind:

1. Kies. — Unter Kies werden Mineralkörner von 2 mm Durchmesser aufwärts verstanden. Die Korngröße 2 bis 1 mm, der Kies-Sand, ist eine Übergangsgröße zum Sand, doch stelle ich sie sedimentpetrographisch noch zum Kies. Demnach beginnt der Kies im weiteren Sinne bei 1 mm.

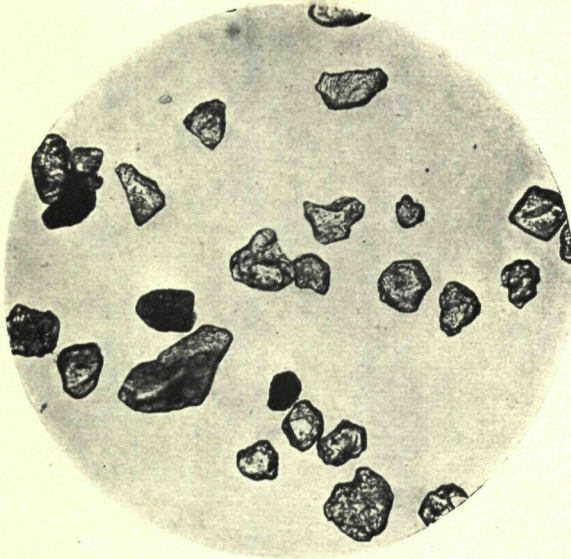


Fig. 16. Gröberer Sand aus der Ostsee vom S-Rand der Rönnebank aus 32 m Tiefe (54° 38'5 N 14° 22'3 O); 36:1.

Die Zahl der reinen Quarzkörner ist geringer als beim Sand. Häufig sind kleine Gesteinsstückchen dabei, die sowohl in der Nordsee wie in der Ostsee meist auf nordisches Material zurückzuführen sind.

2. Sand. — Der Sand beginnt mit 1 mm Durchmesser und endet mit 0.1 mm und wird in 3 Gruppen untergeteilt:

- 1) Grobsand: 1 bis 0.5 mm Korngröße;
- 2) Mittelsand: 0.5 bis 0.25 mm Korngröße;
- 3) Feinsand: 0.25 bis 0.1 mm Korngröße.

Während die glazialen Geschiebelehme eine ± gleichmäßige Beteiligung aller Korngrößen aufweisen, herrscht bei den Nordsee- und Ostseesanden häufig eine Größengattung vor und bestimmt den Sedimentcharakter (Fig. 19). Bei weitgehender Beteiligung aller Korngrößen kann man deshalb darauf schließen, daß die Sande noch wenig veränderte, glaziale Ablagerungen darstellen und erst kürzlich in die Meeressedimente einbezogen worden sind (Fig. 15, 20).

Die Sande bestehen in der Hauptsache aus Quarzkörnern, die $\pm$ gerundet sind, je nach ihrem Ursprung und nach der Länge des Weges, den sie am Boden der See zurückgelegt haben. Bei geringen Wassertiefen reichen die Strömungen mit bedeutenden Geschwindigkeiten bis auf den Boden hinab und bewegen dort die Sedimente, die sich den Strömungen entsprechend der Größe nach anordnen. Neben dem Quarz treten ganz untergeordnet andere Mineralien, wie Magneteisen, Granat, Glaukonit (vergl. Fig. 19), Feldspat, Hornblende, Augit u. a. auf; und in den größeren Sanden finden sich kleine Gesteinsbrocken, die wieder erkennen lassen,

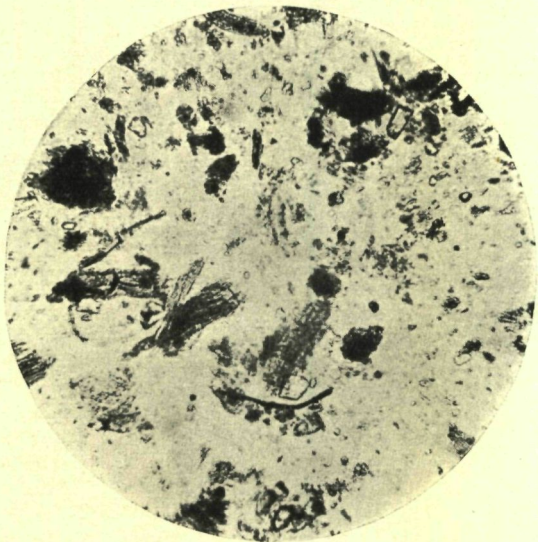


Fig. 17. Mudd aus der Kieler Bucht aus 18 m Tiefe mit zahlreichen Pflanzen-(Seegras-) Resten (54° 26'9 N 10° 35'8 O); 120:1.

daß in der Hauptsache glaziales Material den Ursprung der Sedimente darstellt.

Örtlich können die Sande ganz vom Material der Küste abhängen und zeigen dann schon äußerlich in der Farbe ihre besondere Zusammensetzung, so z. B. Glaukonit-Sande vor der Samländischen Küste. Soweit die Farben nicht von den beigemengten Mineralien herrühren, können sie auch durch braune Eisenhydroxyd-Überzüge auf den Quarzkörnern und auch durch organische Häutchen, wie Diatomeenrasen, bedingt sein.

Der *Kalkgehalt* ist nur zum allerkleinsten Teil anorganisch, abgesehen von einigen Ausnahmen in der Ostsee. Praktisch ist die Gesamtmenge des Kalkes auf Schalenreste von Tieren zurückzuführen (Fig. 20, 21), wobei die Muscheln an erster Stelle stehen; örtlich und mehr in Küstennähe können Schnecken und *Balanus* bedeutenden Einfluß gewinnen. Überall sind außerdem in der Nordsee Foraminiferen vorhanden, die, soweit Proben untersucht sind, nur in Ausnahmefällen über 2% erreichen.

In der Ostsee ist der Kalkgehalt in der Regel sehr viel geringer. Die Foraminiferen fallen praktisch ganz aus, und auch die Muscheln treten sehr stark zurück. Außerdem scheint in der Ostsee eine starke Kalkauflösung stattzufinden, so daß nur selten über 3%, in größeren Tiefen sogar meist unter 1% Kalk vorhanden ist. Nur an einzelnen Stellen bei den Inseln mit kalkigen Gesteinen, so an der S-Spitze von Bornholm, an der Mesozoikum ansteht, dann SO der S-Spitze von Öland und O der S-Spitze von Gotland mit ihren Silurkalken sind Werte von über 10% beobachtet

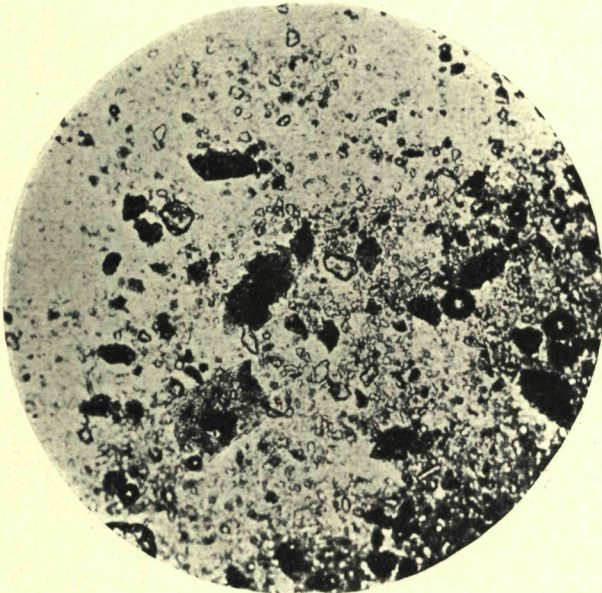


Fig. 18. Schlick vom Nordsee-Watt bei Hallig Gröde; 36:1.

worden, und man geht wohl nicht fehl, in diesem Falle den Kalk auf die älteren Gesteine zurückzuführen.

3. Das Feinste. — Hierhin ist der Staub und sind viele organische Reste, die einen Teil des Mudds ausmachen, zu rechnen. Die Staubmengen werden wieder in 3 Gruppen eingeteilt:

- 1) Grobstaub: 0.1 bis 0.05 mm Korngröße;
- 2) Mittelstaub: 0.05 bis 0.01 mm Korngröße;
- 3) Feinstaub: < 0.01 mm Korngröße.

Bei den reichlich staubenthaltenden Sedimenten herrscht seltener eine Größenordnung vor, oft sind es mehrere (2 bis 3) Gruppen, die überwiegen (Fig. 18). Das Material ist meist noch Quarz neben wenigen anderen Mineralsplintern, und in der letzten Fraktion tritt schließlich auch Ton (im kolloidalen, nicht nur im chemischen Sinne) hinzu (Fig. 14). Schon ein verhältnismäßig geringer Staubgehalt ändert den Charakter der Sedimente wesentlich. Das Feinste ballt sich oft in den Sedimenten zusammen.

Kalkteilchen mischen sich unter die Mineralsplitter, und in der Nordsee sind außerdem die pflanzlichen Kokkolithen in den feinkörnigen Sedimenten zu finden; aber sie sind nie häufig genug, um den Kalkgehalt nennenswert zu beeinflussen.

Der *Ton*, das anorganisch Feinste, kommt in der Nordsee nur unter günstigen Bedingungen in ruhigem Wasser zum Absatz, und daher kann man die Zonen, in denen er reichlicher auftritt, sofort erkennen. Die Ostsee mit ihren größeren Tiefen, in denen das im flacheren Wasser ausgespülte feine Material zur Ruhe kommt, weist wesentlich tonreichere

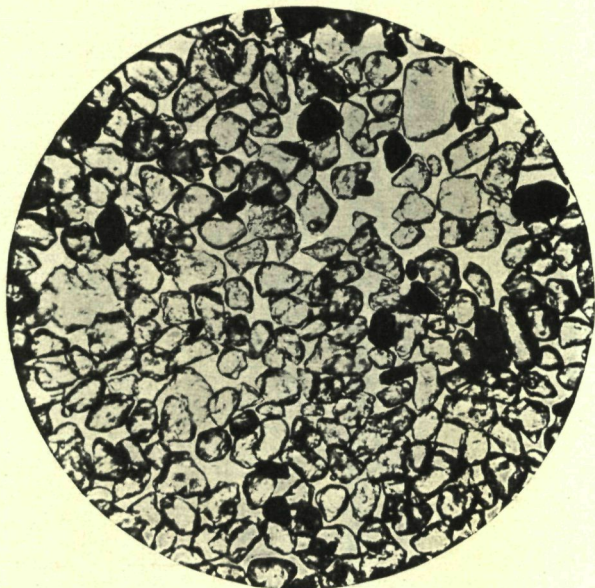


Fig. 19. Einheitlicher feinkörniger Sand aus der Nordsee vom Rande der Südlichen Schlickbank aus 38 m Tiefe ($55^{\circ} 2' N$ $6^{\circ} 46' 5'' O$); 36:1; die dunklen Körner sind Glaukonite.

Sedimente auf (Fig. 14), zumal auch die Küsten vielfach durch ihren Abbruch immer neue Zufuhr liefern. Natürlich ist nicht nur der Feinstaub, sondern sind auch die beiden übrigen Staubfraktionen daran beteiligt. Diese Absätze werden meist als Schlicke bezeichnet, Schlamm sind feiner und schmieriger. Der Begriff »Schlick« bedeutet nicht immer, daß Ton in größeren Mengen vorhanden sein muß. Wichtig ist die Feinkörnigkeit, die auch Sande einschließen kann und die im feuchten Zustande dem Sediment seinen bindigen Charakter verleiht.

Von den heutigen Sedimenten sind die älteren zu unterscheiden, die unter Umständen am Meeresboden freigespült sind und gelegentlich aus Ton bestehen können. Daneben kommen sehr grobe, ausgespülte Moränen vor, ferner Torf, Süßwasserablagerungen u. a., und für die Ostsee sind die bereits mehrfach erwähnten Silurkalke von besonderem Interesse.

4. Der *Mudd*. — An manchen Stellen herrschen organische Reste in den Sedimenten vor; seltener sind es tierische Reste, meist sind es Pflanzenstückchen (Fig. 17). In den Gegenden, wo große Seegrasbestände sind, bilden die gegenüber den Tangen verhältnismäßig widerstandsfähigen Blätter und Stengel noch lange einen wesentlichen Bestandteil der Bodenablagerungen. Soweit die organische Substanz nur einen geringen Teil der Sedimente ausmacht, bezeichnen wir sie entsprechend dem Brauch in der Bodenkunde kurz mit »*Humus*«, und erst wenn sie vorherrschend wird, kommt der von APSTEIN benutzte Ausdruck *Mudd* zur Anwendung.



Fig. 20. Schlickiger Sand aus der Nordsee, S der Küste von Eiderstedt (54° 15'7 N 8° 41'1 O); 36:1; die dunkle Spitze gehört zu einem Krebs, der durchbrochene Stab ist ein Teil eines Seeigeltachels.

Die Menge der leicht zersetzbaren organischen Reste (*Humus*) ist in Sedimenten mit großem Sandgehalt, selbst wenn es feinkörnige Sande sind, in der Regel nicht groß, nur an besonders geeigneten Stellen, wie in Buchten und Häfen, örtlich auch in den Watten (Fig. 18), oder in Vertiefungen des Meeresbodens vermag sie höhere Werte zu erreichen, die mit einer Zunahme der Feinkörnigkeit Hand in Hand gehen.

In der Nordsee liegen höhere Werte vor den Flußmündungen, und in der Ostsee ist der *Humus*gehalt im allgemeinen höher. Das leichte organische Material wandert mit der feinsten Trübe zusammen in die Tiefe und zersetzt sich dort. Ein fast reiner *Mud* wurde in der Kieler Bucht beobachtet (Fig. 17), und in der Danziger Bucht und an vielen anderen Stellen konnten immer wieder einzelne Gewebeteile festgestellt werden. 5 bis 10% organische Substanz sind in der Ostsee keine Seltenheit.

Die *Diatomeen* vermehren durch ihren Weichkörper den Mudd und durch ihre Schalen das Feinste, denn nur ganz ausnahmsweise gehören einzelne Schalen in die Sandfraktionen hinein. Es sind in den Sedimenten nur die grobschaligen Formen erhalten, die aber keinen irgendwie nennenswerten Anteil an der Gesamtmenge erreichen, weder in der Nordsee noch in der Ostsee. Ausnahmen scheinen nur in den Watten und an den Küsten vorzukommen; so sollen im Hafen von Emden bis zu 60% Diatomeen festgestellt worden sein. In der Ostsee fand APSTEIN als Höchstwert einmal bis zu 2%.

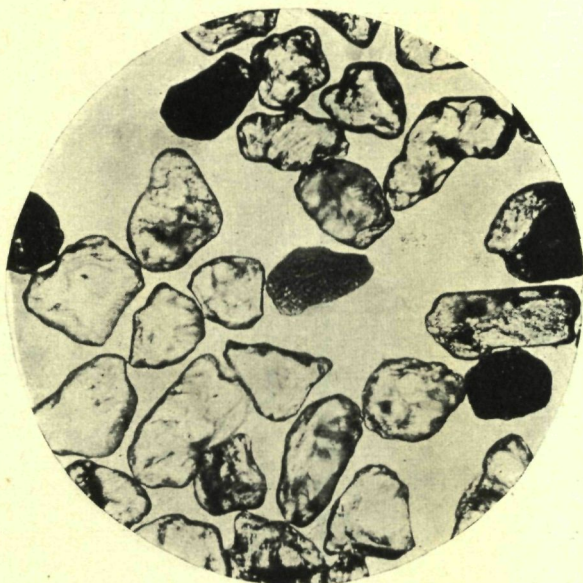


Fig. 21. Grobkörniger Sand von der schottischen O-Küste aus 61 *m* Tiefe (57° 25'5 N 1° 47' W); 36:1; in der Mitte des Bildes ein Ophiurenrest.

Es gibt wenig reine Kiese und auch wenig reine Staubsedimente, wohl aber Sande; häufig sind die Sedimente gemischt, und man wird durch entsprechende Angaben, wie kiesiger Sand oder staubhaltiger Sand, schon den Charakter des Sediments andeuten können. Um genaue Angaben machen zu können, die auch die Unterabteilungen berücksichtigen, müssen die Sedimente geschlämmt und gesiebt werden, und dann werden am besten die Anteile der einzelnen Fraktionen in Zahlen angegeben.

Die *Abbildungen* stellen besonders typische Sedimente dar. Aus der Ostsee zeigt Fig. 14 einen sehr feinkörnigen Schlick aus 158 *m* Tiefe (58° 16'5 N 18° 6'5 O) aus der W-Gotlandrinne S von Landsorttief. Die Vergrößerung ist 120mal. Ein feinsandiges Sediment mit nur noch wenig Staub (Vergr. 36:1) ist auf Fig. 15 wiedergegeben aus 46 *m* Tiefe (55° 26'4 N 17° 26' O) von der Mittelbank. Die feinen Sandkörner sind

durchweg scharfkantig. Sehr viel gröber ist Fig. 16 (36:1) aus 32 *m* Tiefe vom S-Rand der Rönnebank ($54^{\circ} 38'.5$ N $14^{\circ} 22'.3$ O). Auch hier ist alles scharfkantig. Reiner Mudd ist in Fig. 17 zu sehen, in 120facher Vergrößerung. Die Probe stammt aus 18 *m* Wassertiefe aus der Kieler Bucht ($54^{\circ} 26'.9$ N $10^{\circ} 35'.8$ O) und weist zahlreiche noch deutlich erkennbare Pflanzenreste auf. Die Nordsee kennt so gleichmäßig feines Material wie die Ostsee nur von wenigen Stellen; selbst ein sehr feinkörniger Wattenschlick (Fig. 18) aus dem Watt von Hallig Gröde enthält noch Sand, daneben Pflanzenreste und vielleicht auch Kotballen (Vergr. 36:1). Ein typisches Beispiel für die Einheitlichkeit der Korngrößen gibt Fig. 19, die einen Sand aus 38 *m* Tiefe vom Rande der Südlichen Schlickbank zeigt ($55^{\circ} 2'$ N $6^{\circ} 46'.5$ O). Die dunklen Körner sind Glaukonite. Fast der ganze Sand ist zum mindesten deutlich kantengerundet. Ungleich in Größe sind dagegen die Sandkörner in Fig. 20 aus geringer Wassertiefe, dicht vor der Küste von Eiderstedt ($54^{\circ} 15'.7$ N $8^{\circ} 41'.1$ O), die dort noch nicht lange vom Meere bearbeitet sein können und noch viele scharfkantige Stücke zeigen. Der marine Charakter des Sediments kommt durch einen zerbrochenen Seeigeltachel und Krusterfragment zum Ausdruck. An vielen Stellen ist das feinere Material, auch der feinere Sand in der Nordsee durch kräftige Strömungen fortgeführt und gutgerundete gröbere Sedimente bleiben übrig, so in einer Probe von der Schottischen O-Küste (Fig. 21) aus 61 *m* Tiefe ($57^{\circ} 25'.5$ N $1^{\circ} 47'$ W), bei der in der Mitte des Bildes ein Ophiurenrest zu sehen ist. Auch durch diese Abbildungen soll zum Ausdruck gebracht werden, daß die Nordseesedimente gegenüber den Ostseeablagerungen gröber sind.

Die Verteilung der Sediment-Arten am Meeresboden ist keine zufällige, die Bodenbedeckung ist vielmehr der Ausdruck aller im Meere wirksamen Kräfte, und aus dieser Aufzeichnung können wir unter günstigen Verhältnissen die einzelnen Faktoren rekonstruieren. Wir hatten bisher so ziemlich als einzigen Faktor wiederholt die Strömungen erwähnt, die bei größeren Geschwindigkeiten am Boden Sande und Kiese, bei geringen feinkörnige Sedimente zum Absatz kommen lassen. Vor den Flußmündungen richten sich die Absätze nach der Menge und Art der Sinkstoffe und des Wassers. Mit der abnehmenden Tragfähigkeit des Wassers werden die Sedimente auch hier feiner, und aus der Breite der einzelnen Zonen kann man auf die Größe des Flusses und auf seine Wassermassen schließen. In der Nordsee kommt weiter hinzu, daß die Flüsse sich in ein recht salziges Meer ergießen und daß hier die Ausfällung der feinsten Trübe durch die Elektrolytwirkung des Salzwassers früher als in der Ostsee erfolgt. Der Salzgehalt prägt sich also auch in den Sedimenten aus, und sein Einfluß wird durch die Art der im Sediment lebenden Fauna noch besonders betont.

Die Schalen der am und im Boden lebenden Tiere weisen uns zusammen mit den Schalen der Planktonten klarer auf verschiedene im Meere wirksame Kräfte hin, als es die anorganischen Komponenten der Sedimente allein können. In der Ostsee zeigt die Abnahme der Größe bei einigen und das Aufhören bei anderen Molluskenarten den von W nach O abnehmenden Salzgehalt an. Temperatur und Sauer-

stoff im Meerwasser ist bis zu einem gewissen Grade ebenfalls aus den Resten der Fauna zu entnehmen. Der Gehalt an freier Kohlensäure kommt in der Auflösung bzw. in der Anlösung der Schalen zum Ausdruck, und es zeigt sich, daß gerade zwischen Nordsee und Ostsee große Unterschiede bestehen. Die Lösungsfähigkeit des Ostseewassers am Grunde ist sehr viel größer als das der Nordsee, bei der durch die meist sehr viel geringeren Tiefen eine sehr viel intensivere Durchmischung des ganzen Wassers erfolgt. Die Tiefen beeinflussen auch sonst die Sedimente, indem sie nicht nur meist bei Zunahme die Strömungsgeschwindigkeiten herabmindern, sondern auch durch die Möglichkeit der Schwerkraftswirkung eine Abwärtsbewegung und Sortierung einiger Sedimentkomponenten ermöglichen. Mit der Tiefenwirkung steht die Wirkung des Reliefs des Meeresbodens in engstem Zusammenhang, das die Richtungen und die Stärke der Strömungen zu beeinflussen vermag und das in abgeschlossenen Becken des Untergrundes Gasansammlungen veranlassen und damit grundlegende Änderungen des Sedimentes und der Fauna bewirken kann. Als besonderer Teil des Meeresbodens und des Reliefs wirken sich die Küsten aus, die durch ihre Zerstörung die Sedimente beliefern und die durch verschiedene Lebensgemeinschaften den Sedimenten ihren Charakter aufprägen.

In allem zeigt sich, daß zwischen Sediment und Fauna, wenn auch nicht immer direkt, so doch durch beide gemeinsam beeinflussende Faktoren, enge Beziehungen bestehen, so daß es wünschenswert und erfolgversprechend erscheint, wenn in Zukunft mehr als bisher bei der Untersuchung der Meeresfauna auf ihren Lebensraum, auf die Sedimente geachtet würde.

Literatur

Das Schriftenverzeichnis gibt nur eine Auswahl; die meisten Arbeiten enthalten weitere Literaturangaben.

ANTEVS, E.: Shellbeds on the Skagerrack; in: Geol. För. Förh. Stockholm, **51**; 1929.

APSTEIN, C.: Bodenuntersuchungen in Ost- und Nordsee; in: S. B. Ges. Naturf. Freunde Berlin, 1916; p. 355/376.

BEHRENS, T. H.: Über die Untersuchung der Grundproben. Die Expedition zur physikalisch-chemischen und biologischen Untersuchung der Ostsee im Sommer 1871 auf S. M. Avisodampfer »Pommerania«; in: Jahrber. Comm. wiss. Untersuchg. Deutsch. Meere, Kiel f. 1871, **1**, p. 57/63; 1873.

BOISEN-JENSEN, P.: Studies concerning the organic matter of the sea-bottom; in: Rep. Dan. Biol. Stat. **22**; Kopenhagen 1915.

VON BUBNOFF, S.: Geologie von Europa, **1**: Osteuropa, Baltischer Schild. — Berlin 1926.

BÜCHTING, E.: Die Bodenformen der Ostsee. — Diss. Jena 1918.

CLEVE-EULER, ASTRID: Skalkbankar och nivåförändringarna i skagerracks området; in: Geol. För. Förh. Stockholm, **48**; 1926.

DEECKE, W.: Die Oderbank, n. von Swinemünde; in: 9. Jahresber. Geogr. Ges. Greifswald f. 1903/05, p. 201/213; Greifswald 1905.

- DEECKE, W.: Ein Versuch, die Bänke der Ostsee vor der pommerschen Küste geologisch zu erklären; in: N. Jahrb. f. Min. usw. (Beil.), **20**, p. 445/465; 1905.
- EKMAN, SVEN: Studien über die marinen Relikte der nordeuropäischen Binnengewässer; in: Internation. Rev. Hydrobiol., **6/8**, 1913/20.
- EVANS, J. W. u. a.: The British Isles; in: Handb. Region. Geologie, **3.1**; Heidelberg 1917.
- GAMS, H.: Die Geschichte der Ostsee; in: Internation. Rev. d. ges. Hydrobiol., **22**, p. 235/261; 1929.
- DE GEER, G.: A geochronology of the last 12 000 years; in: C. R. XI. Congr. Géol. Internation., p. 241/253; 1912.
- GEIKIE, JAMES: The great Iceage. 3. Aufl. — London 1894.
- GEINITZ, E.: Die geographischen Veränderungen des südwestlichen Ostseegebietes seit der quartären Abschmelzperiode; in: Peterm. Geogr. Mitt., **48**, p. 25/28, 77/83; 1903.
- GRÖNWALL, KARL A.: Til frågan om senglaciala och postglaciala nivåförändringar i södra östersjöområdet; in: Medd. Lunds Geol.-Miner. Inst., **37**; 1927.
- VON GÜMBEL, W.: Geologisch-mineralogische Untersuchung der Meeresgrundproben aus der Nordsee. Die Ergebnisse der Untersuchungsfahrten S. M. S. Kan.-Bt. »Drache« in der Nordsee in den Sommern 1881, 82 und 84. — Berlin 1886; p. 23/47.
- HAUSEN, H.: Über die Entwicklung der Oberflächenformen in den russischen Ostseeländern usw.; in: Fennia, **34.3**, p. 142; 1913.
- HÖGBOM, A. G.: Fennoskandia; in: Handb. d. region. Geologie, H. 13; 1913.
- JAKOVLEV, S. A.: Über die Verbindung des Ostseebeckens mit dem Wolgabecken im Postglazial; in: Votr. Akad. Wiss. USSR.; 1928 (russisch).
- KAYSER, EM.: Lehrbuch der Geologie. Formationskunde. 7. Aufl. — Stuttgart 1923/24.
- KÜPPERS, E.: Physikalische und mineralogisch-geologische Untersuchung von Bodenproben aus Nord- und Ostsee; in: Wiss. Meeresunters. Abt. Kiel, (NF), **10**, p. 3/11; 1906.
- V. LINSTOW, O.: Die Verbreitung der tertiären und diluvialen Meere in Deutschland; in: Abh. Preuß. Geol. Landes-Anst., **87**; 1922.
- MADSEN, V. u. a.: Übersicht über die Geologie von Dänemark; in: Danmark. geol. Unders. (5), Nr. 4; 1928.
- Marineleitung: Die Segelhandbücher der Nordsee und Ostsee. — Berlin: E. S. Mittler & Sohn.
- MUNTHE, H.: Till frågan om submarina geologiska undersökningar i Östersjön-Nordsjön; in: Geol. För. Förh. Stockholm, **29**, p. 109/127; 1907.
- Den svenska hydrografiska Expeditionen 1877. Teil 3; in: Kgl. Svensk. Vet. Akad. Handl., **27**; 1894.
- ORTH: Beiträge zur Meereskunde. Die Zusammensetzung der in den Jahren 1873 und 74 in der Nordsee und in der Ostsee von einigen Vermessungsschiffen der kaiserlichen Marine aufgenommenen Meeresgrundproben; in: Annal. d. Hydrogr. usw., **3**, p. 310; 1875.

- PETERSEN, C. G. JOH.: The Sea Bottom and its Production of Fish-food. A Survey of the Work done in Connection with Valuation of the Danish waters from 1883/1917; in: Rep. of the Danish Biol. Stat. Board of Agricult., Kopenhagen 1918; 62 pp.
- PRATJE, O.: Geologischer Führer für Helgoland und die umliegenden Meeresgründe. — Berlin: Borntraeger 1923 (= Slg. geol. Führer, **23**).
- Alte und junge Sedimente am Grunde der Nordsee; in: Zs. Deutsch. Geol. Ges., **76**, p. 156—164; 1924.
- Die Sedimente der Deutschen Bucht; in: Wiss. Meeresunters., Abt. Helgoland, (N.F.), **18**; 1931.
- RAMSAY, WILHELM: On Relations between Crustal Movements and Variations of Sea-level during the late Quaternary Time, especially in Fennoscandia; in: Bull. Comm. Geol. Finlande, **66**, Fennia **44**. 5, p. 39; 1924.
- REINKE, JOH.: Algenflora der westlichen Ostsee deutschen Antheils. Eine systematisch-pflanzengeographische Studie; in: 6. Ber. Kommiss. wiss. Untersuch. Deutsch. Meere in Kiel für 1887/89, p. III/XI, 1/101; Berlin 1889.
- SALOMON, W.: Grundzüge der Geologie; **2**: Erdgeschichte. — Stuttgart 1926.
- SAURAMO, MATTI: The Quaternary Geology of Finland; in: Bull. Comm. Géol. de Finlande, **86**; 1929.
- SCHAFFER, F. X.: Lehrbuch der Geologie; **2**: Grundzüge der historischen Geologie. — Leipzig 1924.
- Seewarte, Deutsche: Atlas für Temperatur, Salzgehalt und Dichte der Nordsee und Ostsee. — Hamburg 1927.
- SJÖSTEDT, L. G.: En orientering över bottenförhållandena i Öresund och södra Östersjön; in: LUNDS Univ. Årsskr., **18**; 1923.
- SPETHMANN, H.: Studien über die Bodenzusammensetzung der baltischen Depression vom Kattegat bis zur Insel Gotland; in: Wiss. Meeresunters., Abt. Kiel, (N.F.), **12**, p. 303/314; 1910.
- Tiefenkarte der Beltsee; in: Peterm. Geogr. Mitt., **57**. 2, p. 246/251; 1911.
- THIENEMANN, A.: Die Reliktenkrebse *Mysis relicta*, *Pontoporeia affinis*, *Pallasea quadrispinosa* und die von ihnen bewohnten norddeutschen Seen; in: Arch. f. Hydrobiol., **19**; 1928.
- WAHNSCHAFFE, F., & F. SCHUCHT: Geologie und Oberflächengestaltung des norddeutschen Flachlandes. 4. Aufl. — Stuttgart 1921.
- WHITEHEAD, H., & H. H. GOODCHILD: Some Notes on »Moorlog«, a Peaty Deposit from the Dogger Bank in the North Sea. (With Report of the Plant-Remains by CLEMENT REID.); in: Essex Naturalist, I/II, **16**, April-July, p. 51; IV/VII. 1909.
- WITTING, ROLF: Hafsyttan, geoidytan och landhöjningen utmed baltiska hafvet och vid Nordsjön; in: Fennia, **32**. 8, p. 40; 19 .