I.

Geschichtliches.

Im Altertum und Mittelalter beschränkte sich die Erforschung des Meeres auf die Kenntnis seiner Oberfläche und seiner Beziehungen zu den Küsten, Buchten und Inseln. Wenn auch die Tiefen der Oceane seit alter Zeit die Einbildungskraft der Menschen mächtig erregten, so fehlte es doch bis zum neunzehnten Jahrhundert an dem rechten Interesse zu ihrer genaueren Untersuchung. Alle Vorstellungen über Tiefe und Beschaffenheit der Meeresgründe blieben die Erzeugnisse freiester Spekulation. Vorherrschend war die Meinung, dass das Relief des Meeresbodens dem der wasserfreien Erdoberfläche gleiche und wie diese reiche Abwechslung an Bergen und Thälern mit ihren mannigfachsten Formen zeige. Den Tiefseetieren dichtete man die abenteuerlichsten Gestalten an, und auch hinsichtlich der Tiefenmessung blieb für Vermutungen und Annahmen der grösste Spielraum. Aristoteles begnügt sich damit, festzustellen, dass das Schwarze Meer tiefer ist als das Asowsche, das Ägäische tiefer als das Schwarze, und das Tyrrhenische tiefer als alle anderen. Auch Plinius erklärt sich ausser stande, eingehende Angaben über die Tiefe der Meere zu machen, doch erwähnt er bereits, dass einzelne Teile 15 Stadien (ungefähr 1500 m), andere unermesslich tief seien, da kein Grund gefunden werden könne.

Was dem Altertum verhüllt blieb, deckte das Mittelalter nicht auf. Den Seeleuten lag nur daran, festzustellen, ob das Fahrwasser für ihre Schiffe tief genug sei. Deshalb begnügten sie sich, mit einem beschwerten Taue von bestimmter Länge zu loten und die gemachte Lotung mit einem Striche und darüber stehenden Punkte (z. B. $\overline{\dot{1}00}$) aufzuzeichnen, falls das Tau den Grund nicht erreicht hatte.

Die erste eigentliche Tiefenmessung auf hoher See wurde im Jahre 1521 in der Südsee zwischen St. Paul und Los Tiburones durch Magelhaens vorgenommen. Dieser Versuch blieb lange vereinzelt. Ganze Reihen von Tiefenlotungen wurden erst von Sir James Clark Ross 1839—1843 auf seiner antarktischen Expedition (Schiffe »Erebus« und »Terror«, Begleiter Hook) ausgeführt und dabei Tiefen bis zu 4900 m gefunden.

Es bedurfte noch stärkerer kultureller Antriebe, um die Scheu vor diesen zeit- und kostspieligen, ja oft gefahrvollen Messungen zu überwinden, besonders nachdem die vielfach aufgeworfenen Fragen über das Leben der Tiefsee fast völlig verstummt waren.

Durch die Untersuchungen des englischen Zoologen Forbes in den Jahren 1841—1845 schien es nämlich erwiesen, dass schon bei 600 m Tiefe alles organische Leben aufhöre. Das hohe Ansehen Forbes' und der Umstand, dass zu jener Zeit das Tempo im wissenschaftlichen Entdecken, Nachuntersuchen und Ergänzen kein so rasches war wie heute, trugen dazu bei, seiner Lehre feste Wurzeln zu schaffen. Forbes hatte das Meer in Zonen eingeteilt, die sich durch eine verschiedene Flora und Fauna auszeichnen, und meist das Richtige getroffen. Die Pflanzen des Meeres, die Algen, sind in strenger Abhängigkeit von der Art des Lichts und seiner Intensität an bestimmte Tiefen

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

gebunden. Oben leben die blauen, dann folgen die grünen, braunen, endlich die roten. Tiefer trifft man noch die Steinalgen, und von 200 m an erlischt das Pflanzenleben vollständig. In die Rahmen, welche die Vegetation abgiebt, fügt sich auch die Tierwelt in wechselndem Charakter. Aber Forbes ging weiter. Weil er im Ägäischen Meere arbeitete, das, wie jetzt bekannt, in seinen Tiefen tierarm ist, und weil er vielleicht auf Stellen gestossen war, wo die Fauna noch unter das bescheidene Durchschnittsmass sank oder wegen der Unzulänglichkeit der Apparate nicht heraufgebracht werden konnte, so hielt er sich zur Aufstellung des Satzes berechtigt:

»In Tiefen über 600 m giebt es kein tierisches Leben mehr.«

Für die Mehrzahl seiner Zeitgenossen wurde dieser Satz zum Dogma, da sie sich in grösseren Tiefen wegen des Mangels an Licht und Luft und wegen des grossen Wasserdrucks überhaupt kein tierisches Leben denken konnten. Berichtete*) damals irgend ein Schiffskapitän, er habe beim Loten aus grossen Tiefen Tiere herausgezogen, so setzte man sich mit Leichtigkeit durch den Einwand darüber hinweg, diese Tiere rührten nicht vom Grunde des Meeres her, sie seien vielmehr auf dem Wege zur Oberfläche vom Lote zufällig mitgenommen worden. Selbst die Untersuchungen des Norwegers Michael Sars (von 1850 ab) und der Schweden Loven und Asbjörnson über Verteilung der Tiefseefauna an den Küsten Skandinaviens vermochten die herrschende Abyssustheorie nicht zu entkräften, trotzdem diese Forscher für die senkrechte Verteilung der Tiefseefauna keine unteren Grenzen finden konnten.

Da brachte ein Zufall die Wendung. Im Jahre 1865 riss das Telegraphenkabel, welches Sardinien und Bone in Algier verbindet, und als man es aus einer Tiefe von reichlich 2000 m hob und viele Meilen Kabel wieder heraufzog, fand man an diesem verschiedene Seetiere angesiedelt, festsitzende Tiere, die sich nur im ersten Jugendzustande diese Unterlage ausgesucht haben konnten.

Jetzt erst schwanden die letzten Zweifel, und nun begannen jene denkwürdigen Forschungsreisen, die Tiefsee-Kundfahrten, von denen Murray rühmt:

»It may fairly be said, that since the discoveries of Columbus, Gama, Magellan in the thirty years from 1492—1522, there has been no addition to the knowledge of the surface of our planet, that can in any way compare with that acquired by the Challenger und other deap-sea expeditions during the past quarter of a century.«

Zunächst wurden kleinere Expeditionen von britischen und skandinavischen Zoologen unternommen, um die richtigen Methoden zur Erforschung grösserer Tiefen des freien Oceans zu gewinnen. Im Jahre 1868 befuhr das englische Kanonenboot »Lightning« mit den Naturforschern W. Thomson und B. Carpenter das schottische Meer bis zu den Färöer-Inseln, 1869—1870 folgte das Wachtschiff »Porcupine« mit denselben Naturforschern und G. Jeffreys und dehnte die Fahrten bis in das mittelländische Meer aus. Diese Expedition lieferte ganz überraschende Ergebnisse, ihre 61 Schleppnetzzüge, von denen der tiefste nordöstlich von Malta ungefähr 3000 m erreichte, widerlegten für immer die alten irrigen Ansichten, welche bis dahin über die Beschaffenheit der Tiefsee und ihren Mangel an einer Fauna gegolten hatten.

Der grossartige Erfolg der Porupcine-Expedition erregte allseitig das grösste Interesse, und Carpenter, der zweite Vorsitzende der »Royal Society« in London benutzte denselben, an den ersten Lord der englischen Admiralität eine Denkschrift zu richten, in welcher er eine um die ganze Erde zu schickende Expedition, ausgerüstet mit den technischen Hilfsmitteln der Neuzeit und mit der

*) 1817—1818 hatte Sir John Ross im Baffinsmeere in einer Tiefe von nahe 2000 m lebende Tiere, nämlich Korallen, Krebse, Würmer, Fische, gefunden; 1860 hob Wallich (englisches Schiff »Bulldog«) aus 2400 m Tiefe einen lebenden Seestern.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

besonderen Aufgabe der Tiefsee-Untersuchung, nicht allein als ein dringendes Bedürfnis der Wissenschaft, sondern auch als eine Ehrenpflicht des meerbeherrschenden Englands hinstellte. Diese Ansicht vertrat dann der Finanzminister im Unterhause mit solchem Geschick, dass dasselbe einmütig die bedeutenden Mittel — zunächst 2000000 Mark, später im ganzen 3400000 Mark — für die wirksame Durchführung des ganzen Unternehmens bewilligte.

Als Fahrzeug wurde dazu der »Challenger«, eine Korvette von 2300 Tonnen und 1234 Pferdekräften, ausersehen und unter die wissenschaftliche Leitung des Edinburgher Professors Wyville Thomson gestellt, dem ein grosser Stab bewährter Forscher beigegeben wurde. Von den letzteren sei nur Sir John Murray erwähnt, der hochverdiente Redakteur des berühmten Challenger-Werks. Die seemännische Führung lag in den Händen der Kapitäne Frank Thomson und Nares.

Um die Lösung seiner eigenartigen Aufgabe zu ermöglichen, wurde der Challenger in ein grosses, schwimmendes, naturwissenschaftliches Laboratorium umgewandelt. Ein Saal von 7 m Länge und 4 m Breite wurde zur zoologischen Arbeitsstätte eingerichtet, andere Räume zu einem chemischen und physikalischen Laboratorium, zu einem photographischen Atelier mit Dunkelkammer und zu einer umfangreichen Bibliothek, welche alle wichtigeren Fachwerke, Reisebeschreibungen und Handbücher, naturwissenschaftliche Zeitschriften etc. enthielt. Die grösste Sorgfalt war auf die reiche Ausstattung mit den mannigfaltigsten technischen Instrumenten, wie Mikroskopen, Lupen, Netzen, Lotapparaten u. dgl., verwendet. Dabei durften die grossen Spiritusbehälter nicht fehlen und die Hunderte von Kisten mit ihren Tausenden von grossen und kleinen Sammelgläsern.

Auf den Kreuz- und Querfahrten des Challenger, die sich vom 21. Dezember 1872 bis zum 25. Mai 1876, also während 41 Monaten, durch den Atlantischen, Stillen und Indischen Ocean erstreckten, wurde ein ungeheures Material gesammelt, das dann den hervorragendsten Naturforschern aller Kulturländer zur wissenschaftlichen Bearbeitung überwiesen wurde. 18 Jahre waren zur Vollendung des Challenger-Werkes nötig, das jetzt in 50 stattlichen Bänden einen Text von ungefähr 30000 Seiten mit über 3000 lithographischen und Kupfertafeln umfasst. Diesem gewaltigen Umfange des Challenger-Werkes und der ausserordentlich reichen Ausstattung entspricht der beispiellose Reichtum an neuen Entdeckungen, an merkwürdigen Beobachtungen und inhaltsschweren Folgerungen.

Die beistehende Tabelle, die einen Überblick nur über die zoologische Ausbeute der Challenger-Expedition giebt, lässt uns in den Umfang der ganzen Sammlung und der der Wissenschaft völlig neuen Tierwelt eine klare Einsicht gewinnen.

Zonen	Anzahl der Stationen	Tiefe in Metern	Anzahl der beschriebenen		Davon waren neu:		Also in Prozenten neu:	
			Species	Genera	Species	Genera	Species	Genera
I.	—	0— 183	4250	1440	1527	132	36	9
II.	40	183— 915	1893	776	1296	168	68	21
III.	23	915—1830	631	363	501	95	80	26
IV.	25	1830—2745	508	327	365	83	72	25
V.	32	2745—3660	412	272	348	105	84	39
VI.	32	3660—4575	262	184	240	82	92	45
VII.	25	4575—	161	127	140	50	87	39
		Summa	8117	3489	4417	715	54	20

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Selbstverständlich wurde noch viel mehr gefunden als beschrieben werden konnte. Viele Tiere kamen in einem Zustande an Bord des Schiffes, der ein Aufbewahren unmöglich machte, andere wurden ungenügend conserviert und verdarben, bevor sie in die Hände der Naturforscher gelangten, von denen sie bearbeitet werden sollten.

Nicht gering ist der Anteil, den die deutsche Wissenschaft an diesem höchst bedeutsamen Werke hat, stellten doch auch die namhaftesten deutschen Forscher ihr umfangreiches und tiefes Wissen in den Dienst der opferfreudigen englischen Nation. Ein Ernst Haeckel widmete 12 Jahre lang den grössten Teil seiner Zeit und Thatkraft der Untersuchung des Challenger-Materials, von welchem ihm die Radiolarien, Tiefsee-Medusen, Tiefsee-Hornschwämme und Siphonophoren zur vollen Verfügung gestellt waren. R. Hertwig in München beschrieb die Challenger-Actiniarien, A. Kölliker in Würzburg die Korallengruppe der Pennatuliden und F. E. Schulze in Berlin die Hexactinelliden, eine Unterordnung der Kieselschwämme. Über diese Arbeiten fällte Carl Chun, der spätere Leiter der Valdivia-Expedition, in einer Ansprache an die in Braunschweig 1897 versammelten Naturforscher und Ärzte folgendes Urteil:

> »Was die Besten unter uns nach jahrelangem Mühen um Ergründung der systematischen Verwandtschaft und Aufklärung des feineren anatomischen Baues in den Veröffentlichungen der Challenger-Expedition niederlegten, bildet einen Grundstock, auf den wir stolz sein können.«

So reich die Ausbeute an neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen war, erschöpfend konnten diese Untersuchungen nicht sein. Bei der gewaltigen Ausdehnung der Oceane blieben sie doch nur recht lückenhafte, die gemachten Dredschungen und Lotungen waren nur spärliche Stichproben, die einer sorgfältigen Ergänzung noch bedurften. Und dann drängten sich bei der einmal aufgenommenen Forschung Fragen auf Fragen, deren Beantwortung von Problem zu Problem führte. Nachdem das Tiefenlot zuverlässige Messungen gestattete, war das Ziel gegeben, ein Relief des Meeresbodens zu konstruieren und die Kräfte zu studieren, welche gestaltend auf ihn einwirkten. Aus der Thatsache, dass Organismen von der Oberfläche bis zum tiefsten Grunde und durch alle Tiefenschichten hindurch das Meer beleben, folgte die eingehendste Erforschung der gesamten Flora und Fauna des Meeres, besonders inbezug auf ihre Daseinsbedingungen, Organisationen, Anpassungserscheinungen, ihre Verbreitung und Verteilung, sowie hinsichtlich ihrer gegenseitigen Beziehungen. Damit war ein umfassendes Studium der physikalischen und chemischen Eigenschaften des Meerwassers, seiner Strömungen und seines Stoffwechsels eng verknüpft. Die Oceanographie im weitesten Sinne, die alle Zweige der Naturwissenschaften als Hilfswissenschaften betrachten musste, versprach demnach eine ungeahnte Erweiterung und Vertiefung.

England selbst schickte noch einige Expeditionen aus, im Jahre 1882 den »Triton« unter Tizard und John Murray nach den Färöer und Shetland-Inseln, 1887—1890 die Schiffe »Flying Fish« und »Egeria« in den Indischen und südlichen Stillen Ocean und 1887—1896 den »Investigator« unter der Leitung von Wood-Mason und Alcock in den Golf von Bengalen.

Alle Kulturnationen folgten dem ruhmvollen Beispiele Englands und beteiligten sich an dem idealen Wettstreit durch Ausrüstung zahlreicher Expeditionen, so vor allem Nordamerika, Frankreich, Italien und Norwegen.

Die Amerikaner, die bereits 1871—1872 auf dem »Hassler« unter den ausgewanderten Schweizern L. Agassiz, von Pourtalès und Steindachner den Westatlantischen Ocean längs der Küsten von Nord- und Central-Amerika untersucht hatten, erforschten 1873—1878 auf der »Tuscarora« unter den Kapitänen Belknap und Philip den Stillen Ocean zwecks einer Kabellegung zwischen Nordamerika und Japan. Dann folgten die Expeditionen unter Agassiz 1875—1880 auf dem Schiffe

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

»Blake« durch das amerikanische Mittelmeer und das Golfstromgebiet und 1891 durch den Stillen Ocean von der Westküste Mexikos bis zu den Galapagos-Inseln.

Die Franzosen durchforschten auf dem »Travailleur« unter dem Kapitän Richard und der wissenschaftlichen Führung von Milne-Edwards das Mittelmeer und 1883 auf dem »Talisman« unter Kapitän Parfait den Atlantischen Ocean zwischen den Azoren und den Canarischen Inseln.

Den Italienern fiel die umfassende Untersuchung des Mittelmeeres zu, die besonders durch die Fahrten des »Washington« unter Kapitän Magnaghi gefördert worden ist. Hieran schloss sich 1882—1885 die Weltreise des »Vettor Pisani«, die unter Kapitän Palumbo und dem Naturforscher G. Chierchia eine so ausserordentlich reiche Ausbeute ergab, dass ihre Erfolge nächst denen des Challenger zu verzeichnen sind.

Auch die Forschungen des Fürsten Albert von Monaco auf der »Hirondelle« von 1887—1890 und auf der Yacht »Prinzess Alice« in der neuesten Zeit waren wegen erfolgreicher Verbesserung der Tiefsee-Apparate von hohem, wissenschaftlichem Werte.

Von den Expeditionen der Norweger, die hauptsächlich die Untersuchung des nördlichen Polarmeeres zum Ziele hatten, ist die des Schiffes »Vöringen« unter dem Meteorologen Mohn die wichtigste.

Selbst Russland förderte die Meereskunde, indem es die Korvette »Vitiaz« von 1886—1889 eine Reise um die Erde ausführen und deren wissenschaftliche Ergebnisse von Makarow (1896) bearbeiten liess, auch Österreich stand nicht zurück und schickte die »Pola« aus, die mit den Naturforschern J. Wolf, Luksch und Natterer das Adriatische, Jonische, das östliche Mittelmeer und das Rote Meer durchkreuzte.

Dänen und Norwegern blieb die weitere Erforschung des Nordpolarmeeres, den Holländern der Meere an den Küsten ihres hinterindischen Besitzes vorbehalten.

Deutschland nahm anfangs nur einen recht bescheidenen Platz in der Reihe der Staaten ein, die sich um die Tiefseeforschung besondere Verdienste erwerben konnten. 1874—1876 machte S. M. S. »Gazelle« unter dem späteren Admiral von Schleinitz, mit den Professoren Börngen und Studer an Bord, eine Reise um die Erde, wobei sie eine grosse Zahl von Tiefenlotungen ausführte und die Reliefverhältnisse zwischen den Kerguelen und Mauritius und in dem Indischen Ocean zwischen dem 30. und 35. Grade südlicher Breite aufklärte. Hierbei untersuchte sie die Fauna und Sedimente der Tiefsee mit, obgleich sie eigentlich nicht darauf vorbereitet war. Ausserdem wurden 1881, 1882 und 1884 von dem »Drache« unter Korvettenkapitän Holzhauer und 1887 von der »Niobe« unter Kapitän zur See Aschenborn oceanographische Aufnahmen im Gebiete der Nordsee gemacht.

Den Deutschen an der flachen Nordsee und der noch flacheren Ostsee lagen Tiefseeuntersuchungen ja zunächst fern. Desto eifriger wurde die Biologie der heimischen Meere gefördert, besonders seit der Gründung der »Kommission zur wissenschaftlichen Erforschung der deutschen Meere«, deren Sitz Kiel ist. Von dieser Meeres-Universität gingen die Kreuzungsfahrten der »Pommerania« (1871) in der Ostsee und der »Holsatia« in Ost- und Nordsee aus. Geleitet wurden dieselben von Professor Hensen, ausserdem nahmen daran teil die Professoren Moebius, Schultze, Beneke, Reinke, Schütt.

Zu einer Ausdehnung dieser Untersuchungen auf den freien Ocean und auf grössere Meerestiefen fehlte es an den nötigen Mitteln. Erst als durch freiwillige Sammlungen ein Kapital von reichlich 100 000 Mark aufgebracht war, zu welchem Kaiser Wilhelm allein 70 000 Mark gespendet hatte, konnte eine grössere Kundfahrt nach dem Atlantischen Ocean unternommen werden. Diese erfolgte auf dem »National« unter dem Kapitän Heeckt, ging am 7. Juli 1889 von Kiel aus, wandte

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

sich zunächst nach dem nördlichen Atlantischen Ocean bis Jan Mayen, dann südwärts über die Bermuda-Inseln und die Cap Verden nach Ascension, von hier aus westwärts nach Brasilien und dann ostwärts über die Azoren nach Kiel zurück, wo sie bereits am 15. November desselben Jahres wieder eintraf. Ihr Ziel war, eine möglichst allseitige Kenntnis des Oceans und seiner Lebewelt zu gewinnen, es nahmen deshalb der Physiologe Hensen, die Zoologen Brandt und Dahl, der Botaniker Schütt, der Bakteriologe Fischer, der Oceanograph Krümmel und der Marinemaler Eschke daran teil. Ausserdem hatte sich der »National« noch die besondere und eigenartige Aufgabe gestellt, die Menge des im Meere treibenden Materials an Pflanzen und Tieren, des sogenannten Planktons, zu bestimmen und die ökonomische Bedeutung dieser Urnahrung für die Wasserwirtschaft zahlenmässig darzulegen, weshalb ihr auch von Hensen selbst der Name »Plankton-Expedition« beigelegt worden ist. Die statistischen Plankton-Untersuchungen, die bekanntlich zu dem Ergebnis geführt haben, dass die Zeugungskraft des Meeres an organischer Substanz dem dritten Teile der Ertragsfähigkeit einer Wiese von derselben Fläche gleichkommt, dürften, da sie auf einer nur viermonatlichen Fahrt durch verhältnismässig weite Gebiete angestellt wurden, erst ihren vollen Wert erhalten und zu allgemeinen Schlüssen berechtigen, wenn sie von allen grösseren Expeditionen fortgesetzt und ergänzt werden.

Endlich, im Jahre 1898, sollte es Deutschland vergönnt sein, die erste deutsche, mit reichlicheren Mitteln ausgestattete, eigentliche Tiefseekundfahrt auszusenden.

Das zunehmende deutsche Staatsbewusstsein, die Empfindung, dass Deutschland die Pflichten einer Grossmacht auch auf wissenschaftlichem Gebiete hat, seine wirtschaftlichen Fortschritte drängten es dazu, in friedlichem Wettbewerbe mit anderen grossen Kulturnationen auch an die Lösung derartiger, zunächst rein idealer Aufgaben heranzutreten. Aus Reichsmitteln wurden für die von Professor Carl Chun wohl vorbereitete und reiflich durchdachte Expedition 300000 Mark bewilligt, gewiss keine grosse Summe, verglichen mit derjenigen, die England aufgewandt hatte, und doch, wie der Erfolg gelehrt hat, gross genug, um einen wesentlichen Fortschritt auf dem Gebiete naturwissenschaftlicher Erkenntnisse zu ermöglichen. Es galt ja kein unsicheres Tasten mehr, sondern ein zielbewusstes Suchen und Finden. Die Erfahrungen früherer Expeditionen hinsichtlich der Einrichtung des Schiffes und der Fang- und Mess-Apparate wurden sorgfältigst berücksichtigt und zur Erforschung diejenigen Gebiete ausgesucht, die noch jungfräulich waren oder vermöge ihrer besonderen oceanographischen Verhältnisse ein grösseres Interesse darboten.

Am 1. August 1898 verliess die »Valdivia« mit dem Kapitän Krech und den Naturforschern Chun, Schott, Vanhöffen, Apstein, Brauer, Brähm, zur Strassen und dem Photographen Winter Hamburg, um zunächst die Thomsonschwelle im nördlichen Atlantischen Ocean aufzusuchen, dann wandte sie sich nach Süden über die Kanaren nach den Mündungen der grossen westafrikanischen Ströme, von hier aus nach dem Kap und der Agulhasbank, wo die warmen indischen Strömungen ziemlich unvermittelt auf die kalten antarktischen Gewässer stossen. Von Kapstadt aus wurde dann ein Vorstoss bis an den Rand des südlichen Packeises gemacht, der bis 64° s. B. gelang. Der Rückweg erfolgte über die Kerguelen und St. Paul nach der Westküste von Sumatra, dann über die Nikobaren, Ceylon, die Malediven, Tschagos-Inseln, Seychellen nach der Ostküste von Afrika, wo vor allem das Meer von Sansibar und der Somaliküste einem gründlichen Studium unterworfen wurde. Die Heimreise wurde auf dem kürzesten Wege ausgeführt. Die Ankunft erfolgte in Hamburg am 30. April 1899.

Chuns Tiefseekundfahrt entsprach durchaus den Erwartungen, die an sie gestellt werden durften. Sie verlief ganz programmmässig und konnte zum Teil noch mehr leisten als in ihrer ursprünglichen Absicht lag. So war ein Vorstoss bis 50° südl. Br. geplant, wegen glücklicher Eisverhältnisse wurde er aber bis 64° südl. Br. und 54° östl. L. ausgeführt, also bis ungefähr 102 km

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

nördlich von der angenommenen Enderbylandposition. Hier wurde eine Tiefe von 4660 m gelotet (aus welcher das Schleppnetz unter anderen Grundproben einen Sandstein von 5 Centner Schwere heraufbeförderte) und somit die bisher geltende Ansicht widerlegt, dass das antarktische Meer eine Flachsee ist. Ausserdem wurde die Erdkunde durch die Wiederauffindung der seit lange verschollenen Bouvet-Insel bereichert, die selbst von Ross vergeblich gesucht worden war und deren geographische Lage jetzt genau bestimmt werden konnte. Neben den sorgfältig angestellten oceanographischen Beobachtungen liegt der Haupterfolg der Valdivia-Expedition wohl in den ausserordentlich reichen und grossartigen Fängen an Tiefseetieren, die besonders in den Abgründen des Meeresbeckens an der Westküste von Sumatra und an der Somaliküste gemacht wurden. Es ist heute noch nicht möglich, aus der Fülle der angestellten Beobachtungen die bedeutsamsten Ergebnisse herauszuheben, da die Teilnehmer der Fahrt gelegentlich ihrer Reiseberichte nur vorläufige Mitteilungen veröffentlicht haben und wohl noch Jahre brauchen, bis das gesamte Material gesichtet und bearbeitet ist. Es konnten deshalb nur die sinnfälligsten Verdienste der ersten deutschen Tiefseekundfahrt aufgezählt werden, deren Errungenschaften unserem Vaterlande sicher zum Ruhme gereichen werden.

Nach diesem kurzen Rückblick auf die Geschichte der Tiefseeforschung und die zahlreichen Tiefsee-Expeditionen geziemt es noch, der gründlichen und wissenschaftlichen Arbeit zu gedenken, die an den zoologischen Stationen geleistet worden ist und noch heute geleistet wird. Nach dem Vorbilde der von A. Dohrn in Neapel begründeten Anstalt wurden solche an den Küsten von Europa, Amerika, Asien und Australien errichtet und an ihnen durch möglichst lückenlose Beobachtungen auch die Entwicklung und Lebensgesetze der Tiefseefauna untersucht. Die zoologischen Stationen waren es in erster Linie, wo sich die späteren Tiefseeforscher die nötige Erfahrung und das wissenschaftliche Rüstzeug zu ihren grösseren oceanischen Studien erwarben.

Es erübrigt nur noch, die Ergebnisse der Tiefseeforschung und ihre Ziele zusammen zu stellen. Bei dem knappen Raum, der zur Verfügung steht, kann es sich nur darum handeln, in grossen Strichen ein typisches Bild der Tiefsee zu entwerfen und von ihrem Boden, dem Tiefseewasser und der darin heimischen Fauna eine Zeichnung entstehen zu lassen, die nicht mehr von willkürlichen Annahmen und falschen Vorstellungen beeinflusst, sondern auf rein wissenschaftlicher Grundlage erworben ist. Nach Joh. Walther fasse ich den Begriff Tiefsee in dem engeren Sinne auf, indem ich darunter den Boden der tiefen Einsenkungen der Oceane verstehe. Tiefseetiere sind dann die Bewohner dieses Meeresbodens und der darüber ruhenden Wasserschicht.

II.

Die Ergebnisse der Tiefseeforschung.

a. Die Tiefen der Oceane.

Kabellegungen machten eine sorgfältige Untersuchung des Meeresbodens erforderlich und führten zu einer grossen Reihe von Tiefenlotungen, die sich mit den aus rein wissenschaftlichem Interesse vorgenommenen unregelmässig über die Oceane verteilen. In der Nähe der vielgestaltigen Küsten sind sie dichter gedrängt, auf dem offenen Ocean dagegen weiter zerstreut. Der Boden des offenen Weltmeeres zeigt kein so abwechslungsvolles Relief, dass wir uns von demselben nicht durch verhältnismässig spärliche Lotungen ein hinreichendes Bild verschaffen könnten. Er ist durch-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

schnittlich viel ebener als die Oberfläche des Festlandes und lässt die Gebirgslandschaften mit ihren zackigen Felsen und engen Schluchten vermissen, ja es wird sogar bezweifelt, ob die faltende Kraft der Erdoberfläche, der wir unsere Hochgebirge verdanken, unter der gewaltigen Wassersäule überhaupt thätig ist. Dabei fehlen »zwei andere Faktoren, die die Einzelheiten der Oberflächen-Bodenformen herausmodellieren, die Verwitterung und die Erosion, dem Meeresboden ganz oder wirken doch in einer anderen Weise. Die Verwitterung fehlt, denn der Meeresboden ist gänzlich vor den Einflüssen der Atmosphäre geschützt; und wenn auch das Seewasser eine zersetzende und auflösende Wirkung auf den Meeresgrund ausübt, so geht dieser chemische Prozess doch ausserordentlich langsam vor sich, und seine Produkte werden nicht durch Winde und fliessende Wasser nach fernen Gegenden entführt, sondern lagern sich an Ort und Stelle ab. Zwar ist auch das Meerwasser bewegt, aber seine mechanischen Wirkungen reichen nicht tiefer als 200 m und sind auch anderer Art als die der Flüsse, sie gehen in die Breite und schaffen keine Rinnen. Mit einem Worte, die tiefer liegenden Teile des Meeresbodens sind nicht ein Reich der Zerstörung, sondern der Ablagerung, und Ablagerung schafft in der Regel nicht neue Unebenheiten, sondern sucht die vorhandenen zu mildern und auszugleichen.«

Doch sind die Weltmeere keine einfachen Mulden, die sich von den begrenzenden Festländern nach der Mitte zu allmählich vertiefen, wie es noch bis zum Jahre 1856 von Maury angenommen wurde, auch sie haben ihre Erhebungen, die als grosse Plateaus mit sanften Böschungen die weiten Gründe der Oceane in einzelne Becken zerlegen. So streicht im Atlantischen Ocean von Nord nach Süd, den Küstenländern parallel, S-förmig eine Kette zusammenhängender breiter Rücken, zu denen das Telegraphenplateau gehört, das sich zwischen Irland und Nordamerika hinzieht und auf eine Entfernung von ungefähr 400 geographischen Meilen durchschnittlich 3000—4000 m unter der Oberfläche des Meeres liegt. Von Schottland zieht sich nach Island und Grönland hin eine nur 2000 m tiefe Bodenschwelle, die das nördliche Eismeer von den Tiefen des Atlantischen Oceans trennt. Auf dieser ist noch der Wyville Thomson-Rücken aufgesetzt, der sich nördlich der Hebriden von der Insel Rona aus in nordwestlicher Richtung auf 160 km Länge und 16 km Breite durchschnittlich nur 450—500 m tief unter der Meeres-Oberfläche erstreckt. Derselbe ist für die Biologen ganz besonders interessant, weil er eine Schranke für das am Boden entlang fliessende kalte und schwere Polarwasser bildet und deshalb in seinen nordöstlichen Tiefen die polare, in den südwestlichen dagegen die Golfstrom-Fauna zeigt, also einen Vergleich der beiden Faunengebiete auf sehr benachbartem Areal gestattet.

Das Telegraphenplateau setzt sich in den Azoren-Rücken fort, welcher südwärts bis in die Nähe der Küste von Guyana streicht. Zwischen Afrika und Südamerika wird der Atlantik durch den sogenannten südatlantischen Rücken in ein West- und Ostbecken geteilt.

Sehen wir von den Korallen-Inseln und den durch vulkanische Kräfte entstandenen Inseln ab, so sind die Böschungen submariner Erhebungen durchgängig sanfte, so dass Steigungen von über einem halben Grade, also von dem Verhältnis 1 : 100 und darüber, schon zu den Ausnahmen gehören. Als typisches Beispiel nehmen wir nach Supan einen Durchschnitt durch den Atlantischen Ocean in 10° südlicher Breite von Afrika bis zum Rande des durch den bereits erwähnten Rücken gebildeten westlichen Beckens.

Tiefe	Böschung
Küste — 200 m	0° 14′
200 m — 1000 »	1° 50′
1000 » — 2000 »	1° 9′
2000 » — 3000 »	1° 9′

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Tiefe	Böschung
3000 m — 4000 m	0° 34′
4000 » — 5000 »	0° 11′
Ostatlantisches Becken	— —
5000 m — 4000 m	0° 4′
4000 » — 3000 »	0° 10′
Südantlantischer Rücken	— —
3000 m — 4000 m	0° 23′
4000 » — 5000 »	0° 15′
5000 » — 6000 »	0° 11′
Westatlantisches Becken	— —

Eine einfache Rechnung ergiebt, dass hier die Tiefe von 4000 m in einer Entfernung von 275 km erreicht wird. Da der Atlantische Ocean längs des 10. Breitegrades eine ungefähre Breite von 5500 km besitzt, so bleibt ein fast 5000 km breiter Meeresboden, welcher trotz des atlantischen Rückens eine Böschung von höchstens 0° 23′ erreicht, also Neigungen aufweist, die nur ausnahmsweise dem Verhältnis 1 : 150 gleichkommen. Von dem ostatlantischen Becken, das in obigem Durchschnitte ungefähr so breit ist, wie Mitteleuropa zwischen Genua und Schleswig, kann wohl behauptet werden, dass es horizontal ist, da auf weite Entfernungen hin seine Böschungen kaum höher als 0° 1′ sein dürften.

Die obige Tabelle macht uns gleichzeitig mit einem jetzt viel erörterten Ergebnis der Tiefseeforschung bekannt, mit der sogenannten Kontinentalstufe. Wir beobachten, dass die Böschung von der Küste aus bis zu 200 m Tiefe eine ganz geringfügige ist, nur 0° 14′, um von hier ab plötzlich eine bedeutende, nämlich 1° 50′, zu werden. Diese Erfahrung hat man vielfach gemacht, an der Mehrzahl der Küsten des offenen Oceans sinkt der Meeresboden langsam bis zu 100 Faden (= 183 m), bei anderen bis zu 50 oder auch, wie z. B. an der Westküste von Irland, bis 500 Faden; man sprach deshalb von einer Hundertfadenstufe etc. und belegte erst später diese Erscheinungen mit dem gemeinsamen Namen »Kontinentalstufe«. Über ihre Entstehung sind die Meinungen noch nicht geklärt. F. v. Richthofen hält sie für eine Schutt-Terrasse lockeren Materials, in welcher die kontinentalen Verwitterungs- und Erosionsprodukte durch die Festlandsgewässer abgesetzt worden sind, während Joh. Walther sie als eine Bildung aus anstehendem Felsen betrachtet, welche durch die Abrasion der Brandung entstanden ist.

Die grössten Tiefen zeigen die Oceane nicht in ihrer Mitte, sondern an den Rändern, und zwar ausnahmslos in der Nähe vulkanischer Inseln. Im Atlantischen Ocean befindet sich die Tiefe von 7086 m nordöstlich von Haiti, und nördlich von Puertorico sind in 19° 39′ n. Br. und 66° 26′ w. L. sogar 8341 m gelotet worden.

Der Pacifische Ocean hat noch grössere Tiefen aufzuweisen. Die »Tuscarora« lotete in geringer Entfernung von der südöstlichen Küste der japanischen Insel Nippon 8513 m, während ringsum eine Tiefe von 7000 m zu bemerken war; an dem Oststrande des submarinen Tonga-Plateaus, welches sich von den Fidji-Inseln bis Neu-Seeland hinzieht, wurden dann drei Einsenkungen gefunden, die über 8000 m betragen. Die Maximaltiefen liegen in der südlichsten dieser Senken, und zwar wurden hier vom »Penguin«

unter 28° 44′ 24″ s. Br., 176° 4′ w. L. . . . . 9413 m,
» 28° 28′ » » 176° 39′ » » . . . . . 9427 » Tiefe gelotet.

Im Indischen Ocean befindet sich die grösste bis jetzt bekannte Tiefe von 6205 m in der Nähe der Sunda-Inseln unter 11° 22′ s. Br., 116° 50′ ö. L.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Die Polarmeere hielt man bisher für Becken von geringer Tiefe, doch ist diese Ansicht für das arktische Meer durch die Messungen Nansens erschüttert worden, der zwischen Franz Josephs-Land und den Neusibirischen Inseln wiederholt Tiefen über 3000 m, einmal sogar 3800 m, gelotet hat; auch für das antarktische Meer ist eine wesentlich grössere Tiefe wahrscheinlich, nachdem Chun an der Festeiskante unter 64° s. Br. noch eine Tiefe von 4660 m nachweisen konnte.

Wenn wir die bisher noch wenig erforschten Polarmeere ausser Betracht lassen, so können wir nach Supan und Günther für die offenen Oceane folgende Werte zusammenstellen:

Ocean	Fläche in qkm nach Karstens	Mittlere Tiefe in m nach		Grösste bekannte Tiefe in m
		Karstens	Murray	
Atlantischer	79 776 346	3760	4060	8341
Grosser	161 137 973	4080	4420	9427
Indischer	72 563 443	3650	3860	6205

b. Die Sedimente der Tiefsee.

Die Trümmermassen, welche die brandenden Wogen vom Kontinente abnagen oder die Flüsse vom Innern der Festländer dem Meere zufrachten, gelangen kaum über die Kontinentalstufe hinaus. Die gröberen Bestandteile, wie Steine und Kies, sinken bereits in der Nähe der Küsten zu Boden, der feinere Sand wird weiter hinaus in die Flachsee getragen, nur die feinsten erdigen Bestandteile, der sogenannte Schlick, erreichen die Ränder der Flachsee; auf den Boden des offenen Oceans gelangt von diesen anorganischen, kontinentalen Zerstörungsprodukten nur sehr wenig. Und doch ist das Tiefenlot selten auf felsigen Grund gestossen, fast stets hat es eine Probe von dem lockeren Boden mit heraufgebracht. Entweder bestand diese aus einem organischen Schlamm oder aus rotem Ton.

Der erstere, der Tiefseeschlamm, setzt sich vornehmlich aus den kalkigen oder kieseligen Panzern von abgestorbenen, mikroskopischen Pflanzen und Tieren zusammen, die lebend als Plankton die oberen und mittleren Schichten des Oceans bevölkerten. Dem Bodenschlamm der polaren Meere geben die Kieselpanzer der Diatomeen, einer Algengruppe, den besonderen Charakter, die oft so häufig dort vorkommen, dass sie weiten Meeresteilen ihren specifischen olivengrünen, braunen oder roten Farbenton verleihen. Schon James Clark Ross berichtet von seiner antarktischen Reise, dass er das Meer, den Schaum der Wellen und das Eis braun gefärbt sah von mikroskopischen Organismen, und auch im arktischen Gebiete treten die Diatomeen so massenweis auf, dass E. Vanhöffen an der Westküste von Grönland das Eis auf seiner unteren Fläche von einer bräunlichen Diatomeenschicht überzogen fand. Chun hält es mit für die wertvollste Errungenschaft der Plankton-Expedition, dass sie die erstaunliche Produktionskraft arktischer Gewässer an Diatomeen feststellte und dadurch den Schlüssel zum Verständnis »für die Existenz einer in ihrer grandiosen Monotonie und überwältigenden Individuenzahl imponierenden arktischen Fauna lieferte.«

Dann sind es die Radiolarien, jene formenreich und zierlich gestalteten einzelligen Wurzelfüsser, deren kunstvoll gebaute Kieselpanzer den Meeresgrund weithin bedecken. Die grösste Verbreitung aber hat der Globigerinen-Schlamm, dessen Hauptbestandteil die Kalkgehäuse der zu den Foraminiferen gehörigen mikroskopischen Globigerinen bilden. Auch diese sind einzellig und gehören zum pelagischen Plankton, d. h. sie treiben in den oberen Schichten des Meeres. Sterben

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

sie ab, so verlieren sie die feinen Kalknadeln, die ihre Oberfläche vergrössern halfen und das Schweben im Wasser ermöglichten, während die übrig bleibende Kalkschale langsam zu Boden sinkt.*)

Auf dem mittleren Rücken des südatlantischen Oceans ist der Globigerinen-Schlamm in solcher Menge mit den Kalkschalen von Pteropoden gemischt, dass man denselben als Pteropoden-Schlamm besonders zu bezeichnen pflegt.

Den roten Tiefseethon, der ganz ähnliche Eigenschaften wie der Töpferthon hat, z. B. im feuchten Zustande knetbar, im trockenen steinhart ist, glaubte man anfangs aus Globigerinen-Schlamm dadurch entstanden, dass das kohlensäurehaltigere Wasser der tieferen Meeresgründe ihn entkalkt habe, so dass nur die unlöslichen mineralischen Bestandteile, die für den Tiefseethon charakterisch sind, übrig blieben. Jetzt neigt man mehr zu der Ansicht, dass er ein Zersetzungsprodukt vulkanischer Massen ist, die nicht nur von den zahlreichen thätigen Vulkanen der oceanischen Inseln, sondern auch von vielen untermeerischen Vulkanen ausgestossen und durch Wind und Strömungen über weite Flächen verteilt werden.

Über die genauere Zusammensetzung der Tiefsee-Sedimente und ihre Verbreitungsgebiete möge folgende Tabelle Aufschluss geben:

Name des Sediments	Bestandteile in Procenten			Tiefengrenze in m	Areal in Millionen qm
	Kalkhaltige Organismen	Kieselsäure-haltige Organismen	Anorganische Ablagerungen		
Roter Thon	7	2	91	4100—7200	133,4
Radolarien-Schlamm	4	54	42	4300—8200	5,9
Diatomeen-Schlamm	23	41	36	1100—3600	28,3
Globigerinen-Schlamm	64	2	34	700—5400	128,3
Pteropoden-Schlamm	79	3	18	700—2800	1,0

c. Die physikalischen und chemischen Eigenschaften des Tiefseewassers.

Die Gezeiten, Strömungen und Meereswellen sind nur oberflächliche Erscheinungen des Meeres, deren Wirkungen in grösseren Tiefen jedenfalls kaum messbar sind. Es würde deshalb das Tiefseewasser in steter Ruhe bleiben und stagnieren, wenn nicht andere Kräfte eine ununterbrochene Bewegung auch der tiefsten Wasserschichten verursachten. Es sind das zunächst die Diffusion, die hauptsächlich durch Dichteunterschiede der benachbarten Wassermassen in Folge verschiedener Temperaturen und Salzgehalte eingeleitet wird, und dann der Windstau. Zum Verständnis der senkrechten Zirkulation ist in erster Linie hervorzuheben, dass das Meerwasser hinsichtlich seines Dichtemaximums und seines Gefrierpunktes ganz andere Eigenschaften als das Süsswasser zeigt.

Nach Karsten gelten folgende Werte:

Salzgehalt in Promille	Gefrierpunkt	Dichtigkeits-maximum
0	0°	+ 4°
10	— 0,8°	+ 2°
20	— 1,5°	— 0,5°
30	— 2,3°	— 4°

*) Der »Travailleur« fand an der tiefsten Stelle (5100 m) des biskayischen Meerbusens in 1 cbcm Schlamm 116000 Foraminiferen.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Bis 20 ‰ Salzgehalt liegt demnach der Gefrierpunkt noch unter dem Dichtigkeitsmaximum. Daraus folgt, dass die Temperaturgrenze für die salzarmen Gewässer allein von dem Dichtigkeitsmaximum abhängig ist. Im Meerwasser von 20 ‰ Salzgehalt wird demnach die tiefste Schicht nur — 0,5° Wärme haben können, wenn die klimatischen Verhältnisse überhaupt eine solche Abkühlung zulassen. Dagegen in salzreichen Meeren wird die Temperaturgrenze von dem Gefrierpunkt bestimmt, da Wasser von 30 ‰ Salzgehalt gefriert, bevor es sein Dichtigkeitsmaximum erreicht hat. Die schlecht leitende Eisdecke wird dann die darunter liegenden Schichten vor grösserer Abkühlung schützen, so dass selbst das Bodenwasser polarer Meere sich nur auf — 2 bis — 3° C abkühlen kann. Diese durchschnittlichen Bodentemperaturen sind auch jenseits der Polarkreise beobachtet worden, wodurch die alte Theorie hinfällig wurde, dass das Tiefenwasser überall eine gleichmässige Temperatur von + 4° C — entsprechend dem Dichtemaximum des Süsswassers — aufweisen sollte.

In denjenigen Teilen der offenen Oceane, deren Oberflächenschichten sich wegen des wärmeren Klimas nicht bis zum Gefrierpunkt abkühlen können, müsste dann die Bodentemperatur der mittleren Temperatur des kältesten Monats nahe kommen, da ja einerseits mit abnehmender Temperatur die Dichte des Meerwassers von durchschnittlich 35 ‰ Salzgehalt bis zum Gefrierpunkt hin stetig zunimmt, und da andererseits die specifische Wärme des Wassers zu gross ist, als dass es den Schwankungen der Atmosphäre rasch folgen und die tiefste Jahrestemperatur annehmen könnte. Man durfte die Bodentemperatur sogar noch etwas höher vermuten, weil im Meere ja auch wärmeres Wasser durch kältere Schichten hindurch in die Tiefe versetzt werden kann. Bei lebhafter Verdunstung wird nämlich das erhitzte Seewasser relativ salzhaltiger und dichter, sinkt abwärts und wirkt erwärmend auf die tieferen Schichten, durch die es diffundiert. Wie wichtig gerade diese Erscheinung ist, lehrt die Thatsache, dass zwischen dem 20. und 40. Breitengrade die Oceane die grösste Wärmemenge besitzen, also in der Zone der Passatwinde, die das Verdunsten ausserordentlich fördern. In diesen Gürteln liegt die Wasserschicht von 15½° Wärme ungefähr 500 m unter der Oberfläche, während unter dem Äquator, d. h. in der Kalmenregion, das Wasser schon vor 200 m Tiefe auf 15½° abgekühlt ist.

Und trotzdem zeigen die Messungen, dass die Temperaturen des Bodenwassers der offenen Oceane in der tropischen und subtropischen Zone beträchtlich niedriger sind, als die Wintertemperaturen der Oberflächenschichten. Der atlantische Ocean z. B. zeigt nach den Challenger-Untersuchungen folgende Bodentemperaturen:

N.-W.-Becken:	Nordhälfte des Ost-Beckens:
1,2° bis 1,8°.	1,6° bis 2,7°.
S.-W.-Becken:	Südhälfte des Ost-Beckens:
Norden 0,2° bis 0,9°	2,1° bis 2,4°.
Mitte 0,6° bis 0,8°.	Kap-Becken:
Süden 0,4° bis — 0,6°.	0,5° bis 1,0°.

Es bleibt dann keine andere Erklärung als die, dass das Tiefenwasser von den Polarmeeren stammt, und dass es durch eine dauernde unterseeische Strömung beständig erneuert wird, da es ja sonst wegen der Wärmeleitung bereits eine höhere Temperatur hätte annehmen müssen.

Die obigen Zahlen lehren ferner, dass das Tiefenwasser den äquatorealen Gegenden vornehmlich aus dem antarktischen Meere zufliesst, weil die Bodentemperaturen nach Süden hin abnehmen, ausserdem überzeugen sie uns von der Bedeutung des Bodenreliefs, indem diejenigen Becken, die durch eine Bodenschwelle abgegrenzt sind, nur polares Wasser von einer Temperatur aufnehmen können, die in den Schichten von der Tiefe des Rückens herrscht.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Ein Eindringen des arktischen Tiefenwassers ist durch die bereits erwähnten Bodenschwellen zwischen Schottland und Grönland und besonders durch den Wyville Thomson-Rücken verhindert, der sich ja bis ungefähr 500 m unter das Niveau des nordatlantischen Oceans erhebt. Es kommt deshalb vom nördlichen Polarmeere nur die winterliche Oberflächenschicht zur Zirkulation nach den Tiefen der atlantischen Becken, deren Einfluss wird aber bekanntlich durch die sich keilförmig einschiebenden Ausläufer des Golfstroms bedeutend gemildert. Vom südlichen Polarmeere dagegen vermittelt den Zugang die weite Pforte zwischen Süd-Amerika und Süd-Afrika, die reichlich 9000 km breit und über 3000 m tief ist.

Was wir für die Bodentemperaturen des Atlantischen Oceans nachgewiesen haben, lässt sich mutatis mutandis auf die übrigen freien Weltmeere übertragen. Auf dem Boden der gesamten Tiefsee herrschen Temperaturen, die örtlich konstant und nicht wärmer als 2 und nicht kälter als — 3° sind.

Für die Tiefen der abgeschlossenen Nebenmeere ergeben sich naturgemäss ganz andere Resultate. Das Mittelmeer z. B. ist bei Gibraltar durch eine 500 m tiefe Bodenschwelle von der Zirkulation mit dem atlantischen Tiefenwasser abgeschnitten, es behält deshalb von 500 m ab eine gleichmässige Temperatur von 13,5° C, die der Wintertemperatur seiner Oberflächenschicht entspricht. Die Stufe gleicher Temperatur hat demnach im Mittelmeer eine Mächtigkeit von 3900 m, da die tiefste Stelle nach den Lotungen der »Pola« 4400 m misst.

Eine weitere Ursache der Wasserversetzung oder Zirkulation ist der Winddruck. Kräftige Winde, die länger auf eine Wasserfläche einwirken, treiben das Wasser nach der Luvküste hin, so dass es hier steigt, während sein Niveau an der Leeküste sinkt. Zum Ausgleich des Druckunterschiedes wird ein Unterstrom entstehen, der an der Leeküste das kalte Wasser tieferer Schichten emporführt. Bis zum Boden der Tiefsee wird die Wirkung eines solchen Windstaues nicht reichen, da ja selbst der Einfluss der Gezeiten, Strömungen und Oceanwellen unter 1000 m Tiefe nicht nachweisbar ist. Auch diejenige vertikale Zirkulation, die durch Abkühlung oder Verdunstung hervorgerufen wird, kann sich in den tropischen und subtropischen Breiten, wo so niedrige Bodentemperaturen herrschen, nicht bis zur Tiefsee erstrecken. Es bleibt mithin das Herabsinken des kalten antarktischen Wassers die einzige befriedigende Erklärung für die Wasserversetzung der Tiefsee.

Über den Salzgehalt der Tiefsee sind von Forchhammer und Ditmar einige exakte Bestimmungen gemacht worden. Aus diesen geht hervor, dass der Salzgehalt im allgemeinen am Grunde nur wenig geringer ist als in den Oberflächenschichten, und dass die prozentuale Zusammensetzung der einzelnen Bestandteile dieselbe bleibt. Das Salz des Meeres bildet gewissermassen eine Verbindung höheren Grades, die im Mittel folgende Zusammensetzung zeigt:

Kochsalz	78,3 %
Chlormagnesium . . .	9,4 %
Bittersalz	6,4 %
Gips	3,9 %
Chlorkalium	1,6 %
Andere Bestandteile . .	0,4 %.

Diese Eigenschaft des Meerwassers ist biologisch ausserordentlich wichtig, weil sie zeigt, dass die Meeresorganismen in allen Breiten und allen Tiefen Salze von derselben chemischen Zusammensetzung finden, wenn auch der absolute Salzgehalt wechselt.

Ganz besonders interessiert uns der Gehalt des Tiefenwassers an Luft, weil wir ohne dieselbe die Existenz einer Tiefseefauna gar nicht denken können. In der That vermag das Meerwasser an sich sehr viel Luft zu absorbieren und zwar steigert sich noch die Aufnahmefähigkeit mit der Abnahme der Temperatur, so dass sein Luftgehalt nach den Polarmeeren hin beständig

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

zunimmt. Da nun das Polarwasser, wie oben erläutert, durch Zirkulation nach dem Boden der äquatorealen Meere versetzt wird, so ist die Tiefsee auffallend luftreich. Man rechnet nach Buchanan den Luftgehalt des Wassers in 4000 m Tiefe auf 28 %, in 5000 m auf 31 %. Bei Bodenwasser fand derselbe Forscher in 5480 m Tiefe 22 %, in 8360 m 16 % Luftvolumen. Das Mischungsverhältnis von Sauerstoff und Stickstoff verschiebt sich in der im Meerwasser enthaltenen Luft zu Gunsten des ersteren, und zwar enthält das Oberflächenwasser durchschnittlich 33—35 % Sauerstoff, das Tiefenwasser 24—29 % gegen 21 % der atmosphärischen Luft.

Das Kohlensäurevolumen ist im Meerwasser bekanntlich auch ein recht beträchtliches, sein Minimum ist 5 %. Trotzdem es gewöhnlich nach der Tiefe noch wesentlich zunimmt, so schadet die vorhandene Kohlensäure doch der Fauna nicht, weil sie, wie Jacobsen nachgewiesen, nicht in dem gewöhnlichen Sinne absorbiert, sondern so eigenartig gebunden ist, dass sie sich selbst durch mehrstündiges Kochen nicht vom Meerwasser vollständig lösen lässt. Buchanan hat folgende Resultate gefunden:

	In 2740 m Tiefe . . .	31 %	Kohlensäure
	» 4190 » » . . .	24 %	»
	» 5210 » » . . .	37 %	»
Bodenwasser ergab	in 5480 » » . . .	26 %	»
	» 8360 » » . . .	14 %	»

Wegen der geringen Zusammendrückbarbeit des Wassers ist der grosse Druck, unter welchem das Tiefenwasser steht, nahezu proportional der Höhe der darüber ruhenden Wassersäule. Er kann daher durchschnittlich mit 1 Atmosphäre für eine Schicht von 10 m Höhe berechnet werden, sodass sich für die Tiefe von z. B. 8000 m ein Druck von 800 Atmosphären ergiebt. Hierdurch würde das Wasser nach den Versuchen von Regnault um $^1/_{25}$ zusammengedrückt werden, sodass seine Dichte sich auf das 1,04fache, also gar nicht wesentlich, erhöhte.

Wenn wir noch bedenken, dass der Wasserdruck nicht einseitig wirkt, sondern sich allseitig verteilt, so dass sich sein Effekt aufhebt, so dürfen wir ihn trotz seiner 800 Atmosphären nicht als lebensfeindlich bezeichnen. Die Tiefseetiere werden von diesem Drucke wohl eben so wenig belästigt, wie der Mensch von den 15000 kg Luft, die durchschnittlich auf ihm ruhen.

Die physikalischen und chemischen Eigenschaften des Tiefenwassers sichern mithin für eine Fauna im allgemeinen günstige Existenzbedingungen, besonders der reichliche Sauerstoffgehalt und die gleichmässige Temperatur. Eine Tiefenflora assimilierender Pflanzen ist dagegen wegen Mangels an Licht gänzlich ausgeschlossen. Alle Untersuchungen, auch mit den empfindlichsten photographischen Platten, haben zu dem Ergebnis geführt, dass die Tiefen unter 600 m lichtlos sind. Wenn auch in grossen Meerestiefen — bis zu 2200 m — lebende Planktonpflanzen (z. B. Halosphaera viridis) gefunden worden sind, so dürfte es sich entweder um Ruhezustände dieser Algen handeln, die aus oberen Schichten herabgesunken sind, oder aber diese Pflanzen sind im stande, in den belichteten Schichten Reservestoffe aufzuspeichern, mit deren Hilfe sie auch in unbelichteten Tiefen zu vegetieren vermögen.

Nur die Bakterien, die einzigen Vertreter der Pilze im Meerwasser, sind an keine Tiefengrenze gebunden.

d. Die Tiefseefauna.

Aus dem Mangel einer Tiefenflora begründet sich die ökonomische Abhängigkeit der Tiefsee von den obersten, belichteten Regionen des Meeres. Da die Tiefsee selbst nicht produktiv thätig ist, bleibt sie darauf angewiesen, ihre Lebensmittel aus den produktiven Schichten des Oceans einzuführen, in denen das vegetative Plankton mit seinen mikroskopisch kleinen aber massenhaft auf-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

tretenden Algen die Urnahrung aller tierischen Organismen bildet. In ununterbrochenem Regen sinken die Körper abgestorbener Pflanzen und Tiere in die Tiefe hinab, wo ihre organischen Bestandteile nochmals in organische Substanz umgesetzt werden. An der Nahrungszufuhr beteiligen sich für die äquatorealen Tiefen nicht bloss die Planktonmassen der direkt darüber befindlichen Schichten, sondern auch diejenigen der polaren Gegenden. Allerdings wird das antarktische Plankton keinen geringen Teil äquatorealen Ursprungs enthalten, weil warme Strömungen das Plankton polwärts führen; an den Stellen, wo die äquatorealen Triften auf die kalten polaren stossen, wird es wegen des grossen Temperaturwechsels absterben, niedersinken und dann durch die oben beschriebene Zirkulation nach den tropischen und subtropischen Tiefen versetzt werden.

Die Tiefseetiere sind entweder träge Schlammbewohner und Aasfresser oder räuberische Fleischfresser, die sich von den Bewohnern der Tiefsee nähren. Die räuberische Eigenschaft der Tiefseetiere hat Fürst Albert von Monaco der Wissenschaft dienstbar gemacht, indem er Tiefseereusen konstruierte, sie mit Fleischköder versah und damit ausgezeichnete Fänge, besonders an Krebsen, erzielte. Vielen Tiefseefischen ist ihr räuberischer Charakter deutlich aufgeprägt; ein grosser, mit langen, krummen Zähnen hesetzter Rachen, ein weiter Schlund, ein dehnbarer Magen kennzeichnet die Gefährlichkeit dieser Tiere und zeugt für die Härte des unaufhörlichen Kampfes, der in den Tiefen ebenso erbittert ausgefochten wird wie in der sonnenbeschienenen Oberwelt.

Inbezug auf die Gestalt und den ganzen Bauplan hat uns die Tiefsee mit keinem neuen Typus bekannt gemacht, alle bis jetzt gefundenen Tiere lassen sich ohne Schwierigkeit in die bestehenden Systeme einordnen, denen nur neue Familien, Gattungen und Arten angegliedert werden konnten.

Von den Wirbeltieren sind allein die Fische vertreten, Aale und elektrische Plattfische nicht ausgeschlossen. Das Gros stellen die Wirbellosen, unter ihnen die Krebse, Mollusken, Würmer, Echinodermen, Aktinien und Korallen, Spongien und Foraminiferen. Auch die ursprünglich gehegte Hoffnung der Naturforscher, in den Tiefen der Meere viele der Tiere noch lebend zu finden, die uns aus den Versteinerungen älterer geologischer Perioden bekannt sind, hat sich nur in beschränktem Masse erfüllt. So leben heute in den grössten Tiefen die Eryoniden, die nach den Befunden im Solenhofer lithographischen Schiefer einst die oberflächlichen jurassischen Meere bevölkert haben müssen. Im allgemeinen bilden die Meeresgründe keinen Zufluchtsort für Tiere, die sich in die Neuzeit hinüber gerettet haben, sie bergen nur Verwandte aus den Oberflächenschichten, die sich den eigenartigen Lebensbedingungen der Tiefsee anpassen konnten. Wenn wir sie so wenig als Versteinerungen finden, so liegt es wohl in erster Linie daran, dass die tiefen Meeresgründe permanent sind, d. h. seit den ältesten Zeiten von Wasser bedeckt wurden, so dass ihre Sedimente auch bei grösseren Schwankungen der Meeresverteilung nie an die Oberfläche traten. Ganz anders verhält es sich mit dem pelagischen Plankton, unter ihm finden wir heute eine grosse Anzahl von Organismen noch lebend, die fossil sich an dem Aufbau der Tertiärablagerungen von Sicilien oder an den Kieselagern von Bilin in Böhmen, den Diluvialablagerungen von Tripoli u. a. O. beteiligen.

Die absolute Dunkelheit der Tiefsee, der hohe Wasserdruck, die gleichmässig niedrige Temperatur haben der Tiefseefauna ein besonderes Gepräge verliehen. So darf es uns nicht überraschen, wenn wir manche blinde Formen beobachten, deren Verwandte des Oberflächenwassers ganz normal entwickelte Augen besitzen. Gewissen Krebsen fehlen die Augen vollständig, dafür sind die Seiten des Körpers, die Gliedmassen und Antennen mit einem Flaum zarter Sinneshaare ausgestattet und die Fühler so verlängert, dass sie den Körper um das 10- bis 20fache der Länge übertreffen. Fürst Albert von Monaco hat die Wissenschaft mit einem Krebse bekannt gemacht, dessen Antennen die Länge von 1 m erreichen.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Auch viele Tiefseefische sind blind oder haben kleine, verkümmerte Augen. Diesen Formen stehen aber wieder andere gegenüber, deren Augen regelmässig gebaut und auffallend gross sind, die Valdivia-Expedition fing sogar Fische mit gestielten Augen. Nach den Darstellungen Guenthers, des Bearbeiters der Tiefseefische der Challenger-Expedition, dürften die blinden Arten kaum 3 % ausmachen.

Es ist deshalb der Mangel an Augen kein charakteristisches Merkmal der Tiefseebewohner, sondern auch nur eine Ausnahme. Ihre Erklärung findet diese Eigenschaft in der Fähigkeit der meisten Tiefseebewohner, Licht selbst zu erzeugen. Bekanntlich sind schon sehr viele pelagische Formen mit der Gabe der Phosphorescenz ausgestattet. Myriaden von Planktontieren steigen in dunklen windstillen Nächten aus den tieferen Schichten an die Oberfläche, wo sie mit ihrem milden Lichte das Meer weithin in feenhaftem Glanze erstrahlen lassen. Dieselbe Phosphorescenz kommt den Tiefseetieren zu, so ist von Protozoen, Korallen, Seesternen, Krustentieren und Fischen das Leuchtvermögen erwiesen, da sie oft noch in ihrem eigenen Lichte glühten, wenn sie gefangen an die Oberfläche gebracht wurden. Bald ist die ganze Oberfläche leuchtend, indem sie ein phosphorescierendes Sekret absondert, bald ist das Leuchtvermögen an örtliche Organe gebunden, die entweder einzelne Punkte oder Linien oder grössere Flecken darstellen und an den Seiten des Körpers, den Gliedmassen, den Kiemen, Barteln oder auch unter den Augen liegen. Bei einigen Fischen sind die Leuchtorgane ganz wie Augen gebaut und mit Hohlspiegeln und Linsen ausgestattet, so dass sie Scheinwerfern oder Blendlaternen gleichen, mit deren Hilfe die nächste Umgebung gut erhellt werden kann. Und zwar scheint ihr Aufleuchten auch von dem Willen der Tiere abzuhängen, da die entwickelteren Leuchtorgane mit Nerven versehen sind.

Die biologische Bedeutung des Leuchtens scheint weniger im Abschrecken als im Anlocken der Beutetiere zu beruhen, wenigstens berichtet Chun, dass ausgeworfene elektrische Glühlämpchen bald von Tausenden pelagischer Organismen umschwärmt wurden.

Die Färbung der Tiefseetiere ist in der Regel eine eintönige, nie finden sich zusammengesetztere Zeichnungen, selten Bänder oder Flecke. Vorherrschend ist entschieden die rote Farbe, die in allen Abtönungen vorkommt. Die Krebse sind orange bis dunkelrot, Korallen, Aktinien, Hydroiden oft purpurrot, die Seesterne gewöhnlich fleischrot gefärbt. Bei den Fischen überwiegt als Grundfarbe Violett, das in allen Abstufungen bis zum Schwarz hin abändert. Auch die Tiefsee-Medusen und Cephalopoden zeigen gewöhnlich violette Färbung. Dagegen sind die Schlammbewohner vielfach farblos, und selbst unter den lebhafter rot und violett gefärbten Arten befinden sich verhältnismässig zahlreich weisse Exemplare. Grelle Farben sind ausserordentlich selten vertreten, auffallend ist die gelbe Färbung einiger Haarsterne.

Ob das Vorherrschen der roten und violetten Töne in Beziehung zu den physikalischen Eigenschaften des phosphorescierenden Lichtes steht, ist noch nicht genügend aufgeklärt, doch sehr wahrscheinlich. Die abweichend gefärbten Tiere dürften hauptsächlich Gäste der Tiefsee oder aber verhältnismässig junge Einwanderer derselben sein.

Die tiefen Gründe der See haben völlig ruhiges Wasser, denn alle die Kräfte, welche die Oberfläche in Bewegung setzen, verlieren ihre Macht schon in geringer Tiefe oder lassen dieselbe wenigstens nicht messbar nachweisen. Es fehlen deshalb der abyssalen Fauna die vielfältigen Organe, wie Haftscheiben, Bohrwerkzeuge, feste Panzer etc., die den Tieren eigen sind, die in stetem Kampfe mit Brandung und Wogen stehen. Die Spongien, welche am Strande und in der Flachsee sich vielgestaltig ihrem Substrat anschmiegen oder formlose Massen oder vielfach verästelte Stämmchen bilden, entwickeln sich im Gleichgewicht der Tiefsee zu regelmässigen, kugeligen oder becherartigen Formen, die Krebse scheiden nur dünne Panzer, die Mollusken nur dürftige Schalen, die Korallen

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

und die Stachelhäuter nur ein zartes Kalkgerüst aus. Korallen, die sonst in grossen Kolonien zu Schutz und Trutz vergesellschaftet sich vorfinden, treten in der Tiefsee einzeln und in bedeutenderer Grösse auf.

Sind die Körper der Tiere in den Fluten der Flachsee fest und gedrungen gebaut, so finden wir sie in den Tiefen leicht und elegant geformt, wie z. B. die Krebse, die sich durch lange und dünne Beine und noch längere und zartere Fühler auszeichnen. Hierbei möge gleich die auffallende Grösse erwähnt werden, die manche Tiefseetiere erreichen. So wurden auf der Valdivia-Expedition Muschelkrebse von der Ausdehnung einer Haselnuss gefangen, die man bisher nur wenige Millimeter gross gekannt hatte.

Bei den Fischen sind die Muskeln und Knochen nur schwach entwickelt, und häufig wird die knorpelige Beschaffenheit des Primordialskeletts dauernd beibehalten.

Der durchweg zartere Bau scheint demnach typisch für die echten Tiefseebewohner zu sein. Dass er nicht im Widerspruche mit dem hohen Druck steht, haben wir schon oben nachgewiesen. Auch grössere Druckveränderungen sind keineswegs von so verderblichem Einflusse, wie es zunächst den Anschein hat. Nur die Tiere, deren Körper stark zusammendrückbare Medien enthalten, wie die Fische mit Schwimmblasen oder mit gasreichem Blute, werden beim Heraufholen aus der Tiefe durch die rasche Druckverminderung sehr geschädigt. Die sich ausdehnenden Gase zersprengen die Schwimmblase oder treiben die Gewebe auseinander, die förmlich zerfliessen, so dass die Knochen nur noch in losem Zusammenhange bleiben oder das Tier gar in einzelnen Bruchstücken die Oberfläche erreicht. Die übrigen Tiere ohne hydrostatische Apparate und ohne Blutgefässe gelangen im allgemeinen wohlbehalten an Bord des Schiffes. Wenn sie auch meist kurz nach ihrem Fange sterben, so liegt das weniger an der erlittenen Druckverminderung, sondern an dem schroffen Temperaturwechsel, für welchen die Mehrzahl der Tiere sehr empfindlich ist. Fürst Albert von Monaco beobachtete nämlich, dass »die im Atlantik aus einer Tiefe von 1400 m und einer Temperatur von 3° heraufgebrachten Tiefseetiere nur noch einen Schimmer von Leben zeigten, und die Bewohner grösserer Tiefen ausnahmslos tot an die Oberfläche kamen, während im Mittelmeer aus einer Tiefe von 1650 m bei 13° C die meisten Tiefseetiere in voller Lebenskraft in die Hände des Beobachters gelangten. Ja ein Krebs lebte mehrere Tage noch munter weiter. Zugleich fand man mehrere identische Fischarten im Mittelmeer sowohl in 50 als auch in 1650 m Tiefe. Diese Thatsache lehrt, dass die Druckverminderung lange nicht so schwere Folgen in physiologischer Beziehung nach sich zieht, als der rasche Wechsel sehr verschiedener Temperatur.«

In der Tiefsee giebt es keinen Unterschied zwischen Tag und Nacht, keinen Wechsel der Jahreszeiten, keine klimatischen Schwankungen. Nur die Nahrungsquellen fliessen nicht mit gleicher Regelmässigkeit; mit Beginn des Winters werden sie sich verstärken, nachdem die Herbststürme die im Sommer reich entstandene Pflanzenwelt vernichtet haben und die abgekühlten Schichten der Oberfläche die zerfallenden Reste derselben zur Tiefe führen.

Im übrigen herrscht unveränderlich die niedere Temperatur, der gleiche Lichtmangel, der hohe Wasserdruck, und auf weiteste Strecken zeigt der Boden die gleichen Sedimente.

Bei solcher Konstanz der Daseinsbedingungen können sich die Tiere gleichmässig entwickeln, so dass nur der gegenseitige Kampf und die immerhin spärliche Nahrung einer abnormen Vermehrung ein Ziel setzt. Durch die Plankton-Expedition wissen wir, dass das reichste Tierleben in der Oberflächenschicht bis zu 200 m herrscht, durch die vielen anderen Kundfahrten, dass keine Tiefenstufe unbelebt ist, und dass auf dem Meeresgrunde wieder ein üppigeres Tierleben vorhanden ist. »Ein Netzzug des Challenger in 1828 m Tiefe ergab 200 Tiere mit 79 Arten und 55 Gattungen, ein Netzzug in 2926 m brachte 200 Tiere herauf mit 84 Arten und 75 Gattungen. Selbst in Tiefen über

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

8000 m fing man Fische und niedere Tiere aus allen Klassen und konnte sich überzeugen, dass dieselben in jenen ungeheueren Tiefen gut leben können. Im allgemeinen darf man ja sagen, dass tierisches Leben am Meeresboden nahe den Kontinentalküsten reicher ist als in den entsprechenden Tiefen nach dem Mittelpunkt der Oceanbecken zu, aber wenn man bedenkt, wie gering die Möglichkeit ist, mit einem Netz an einem 10 km langen Tau die Tiere des Meeresbodens zu erbeuten, so muss uns die Zahl der hierbei wirklich gefangenen Organismen in Erstaunen setzen.«

Die gleichmässigen Lebensbedingungen der Tiefsee erklären uns auch die grosse Übereinstimmung weiter Faunengebiete und das kosmopolitische Vorkommen mancher Arten. A. Agassiz, welcher die Tiefseefauna der amerikanischen Meere auf mehreren Expeditionen gründlich kennen gelernt hat, war überrascht, als ihm die Sammlungen des Challenger dieselben Typen darboten. Bathyactis symmetrica und Cryptohelia pudica findet man kosmopolitisch.

Bei der Charakterisierung der Tiefseefauna beschränkten wir uns auf die Schilderung derjenigen Tiere, die das Gebiet der Tiefsee niemals verlassen. Wir sahen, wie wenig der Druck des Wassers die Ausbreitung der Fauna beeinflusst, wie dieselbe in viel höherem Grade von der Temperatur und bei den Schlammbewohnern von der Facies des Meeresbodens abhängig ist. Aber auch gleiche Temperaturen finden wir von Pol zu Pol; während die Temperaturen um 0° in der Arktis und Antarktis an der Oberfläche vorkommen, finden wir sie in den äquatorealen Gegenden in bedeutenden Tiefen. Die Schichten gleicher, mittlerer, niederer Temperaturen gleichen Schalen, deren Boden am Äquator in die Tiefen des Oceans hinabreichen, während die Ränder die Oberflächenschichten der Polarmeere berühren. Die Fauna, die nur vorübergehend die Tiefsee aufsucht oder erst in dieselbe einzuwandern im Begriffe steht, dürfte allgemeine charakteristische Merkmale kaum erkennen lassen.

Die Tiefseeforschung kann mit Stolz auf die glänzenden Resultate blicken, die sie in wenig Jahrzehnten in so reichlichem Masse gezeitigt hat. Nach mühevoller Arbeit ist es dieser jungen Wissenschaft gelungen, den Schleier, welcher die tiefen Gründe des Meeres bisher verhüllte, zu lüften. Kein menschlicher Fuss hat dieses Reich je betreten, kein menschliches Auge hat es je gesehen, und uns winkt nicht die leiseste Hoffnung, dass dies jemals anders werden wird. Allein man hat ihm seine Geheimnisse mittelst sinnreich konstruierter Apparate abgerungen, und dank der hohen Ausbildung aller Zweige der Naturwissenschaften ist man jetzt wohl im stande, sich selbst von den tiefsten Gründen der Oceane und des in ihnen verborgenen Lebens eine hinreichende Vorstellung zu machen. Und auch der Blick in die Tiefen des weiten, vielgestaltigen Meeres erfüllt uns mit Staunen und Bewunderung für die ewige Ordnung der Naturgesetze.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf