

Lehrbuch der Allgemeinen Geographie
Band 5, Teil 2

Lehrbuch der Allgemeinen Geographie

Begründet von Erich Obst
Herausgegeben von Josef Schmithüsen

Autoren der bisher erschienenen Einzelbände

J. Blüthgen †, Münster; K. Fischer, Augsburg;
H. G. Gierloff-Emden, München; Ed. Imhof, Zürich;
H. Louis, München; E. Obst, Göttingen; J. Schmithüsen, Saarbrücken;
S. Schneider, Bad Godesberg; G. Schwarz, Freiburg i. Br.;
M. Schwind, Hannover; W. Weischet, Freiburg i. Br.; F. Wilhelm, München



Walter de Gruyter · Berlin · New York 1980

Geographie des Meeres Ozeane und Küsten

von

H. G. Gierloff-Emden

Teil 2



Walter de Gruyter · Berlin · New York 1980

Autor

Prof. Dr. rer. nat. Hans-Günter Gierloff-Emden
Lehrstuhl für Geographie und
Geographische Fernerkundung
Institut für Geographie der
Ludwig-Maximilians-Universität München
Luisenstraße 37
8000 München 2

Der Teil 1 enthält 324 Abbildungen und 1 Ausschlagtafel

Der Teil 2 enthält 290 Abbildungen und 1 Ausschlagtafel

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek

Lehrbuch der allgemeinen Geographie / begr. von Erich Obst. Hrsg. von Josef Schmithüsen. Autoren d. bisher erschienenen Einzelbd. J. Blüthgen . . . – Berlin, New York: de Gruyter.

NE: Obst, Erich [Begr.]; Schmithüsen, Josef [Hrsg.]; Blüthgen, Joachim [Mitarb.] Bd. 5. – Gierloff-Emden, Hans-Günter: Geographie des Meeres

Gierloff-Emden, Hans-Günter:

Geographie des Meeres: Ozeane und Küsten / von Hans-Günter Gierloff-Emden. – Berlin, New York: de Gruyter. Teil 1. – 1979.

(Lehrbuch der allgemeinen Geographie; Bd. 5)
ISBN 3-11-002124-2

© Copyright 1979 by Walter de Gruyter & Co., vormals G. J. Göschen'sche Verlagshandlung, J. Guttentag, Verlagsbuchhandlung, Georg Reimer, Karl J. Trübner, Veit & Comp., Berlin 30. Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung und Verbreitung sowie der Übersetzung, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (durch Photokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung des Verlages reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden. Printed in Germany. Satz und Druck: Kupijai & Prochnow, Berlin. – Bindearbeiten: Mikolai, Berlin.

Vorwort

Das Meer als Raum des Planeten Erde

Die Erde ist der einzige „Wasserplanet“ unseres Sonnensystems. Das Meer bedeckt rund sieben Zehntel der Erdoberfläche. Als eine verhältnismäßig dünne Haut hat das Meer eine sehr große Reaktionsfläche und ist damit von größter Bedeutung für das Klima und das biogene Geschehen der Erde. Der Sauerstoffgehalt der Atmosphäre wird durch die Sauerstoffproduktion der Algen des Meeres in bedeutendem Maße stabilisiert.

Das Meer als Umwelt ist — wie zum Beispiel Inlandeis, Wüsten, Hochgebirge, tropische Urwälder — einer der letzten großen Naturräume des Planeten Erde, die in unserer Zeit, im 20. Jahrhundert, vom Menschen beeinflusst, verändert, vernichtet werden. Das Meer steht mit Veränderungen auf den Kontinenten wie Desertifikation über Wasserhaushalt und Klima in einem engen Wirkungszusammenhang. Dieser Wasser-, der Wärme- und der Sedimenthaushalt werden durch anthropogene Maßnahmen wie Aufstau (Nil) oder Umlenkung (Dwina — Wolga) verändert; klimatische Veränderungen, wie sie auf der Weltklima-Konferenz 1979 diskutiert wurden, sind die Folgewirkungen.

Zum Thema „Geographie des Meeres“

Die Geographie des Meeres befaßt sich mit dem Weltmeer, d. h. mit den Ozeanen und den Küsten als Umwelt. Es werden die allgemeinen Erscheinungen und Prozesse im Raum und die Eigenart besonderer Räume, wie die Küsten, behandelt. Bei der Untersuchung zum Beispiel der Gezeiten steht hier nicht die physikalische Theorie im Vordergrund, sondern die durch die Gezeiten bedingte Landschaft: das Watt. Ebenso steht bei der Abhandlung der Wellen nicht ihre Hydrodynamik im Mittelpunkt des Interesses, sondern ihre Bedeutung für die Gestaltung der Küsten und für die Schifffahrt. Den Begriff „marine Landschaftskunde“ hat G. Böhnecke [1962] eingeführt. Marine Landschaftskunde bedeutet die umfassende Betrachtung der Meeresräume, die neben den naturwissenschaftlichen Sachverhalten auch die anthropogeographischen Fakten einbezieht.

Die „Geographie des Meeres“ ist eine Darstellung eigener Art, die neben den Lehrbüchern der „Allgemeinen Meereskunde“ zu nutzen ist. Dem Fach Geo-

graphie kommt in der Lehre die Aufgabe des Transfers von Sachverhalten der Erdwissenschaften zu. Die Meereskunde, in ihrer Entwicklung einstmals auf praktische Belange der Seefahrt ausgerichtet (Maury), ist zu einer komplexen, weitverzweigten Großwissenschaft geworden, die sich in mehrere Richtungen entwickelte, in geophysikalische, chemische und biologische Disziplinen mit speziellen Zweigen wie Technologie und Bionik. In der Gegenwart gehören die anthropogene Beeinflussung von Ozeanen und Küsten als den Räumen der Umwelt des Menschen, die so problematisch geworden ist, und die Wechselwirkung zwischen dieser Beeinflussung und dem Naturraum in den Vordergrund der Betrachtung. Es handelt sich um einen multidisziplinären Gehalt, der unter dem Aspekt der Erscheinungen, Prozesse und Wechselwirkungen in räumlicher Ordnung als ein geographischer besteht. Allgemeine Aspekte räumlicher Forschung und räumlicher Ordnung sind gültig: Formenwandel, regionale Einheiten, Milieus; Physiotope und Ökotope wie: Watt, Ästuar, Felsufer, Auftriebswasserregion.

Noch in der Zeit von 1900 bis 1940 gehörte die Behandlung des Meeresraumes zum Selbstverständnis der Geographie, vertreten mit Arbeiten deutscher Geographen wie O. Krümmel, E. v. Drygalski, W. Meinardus, L. Mecking, R. Lütgens, E. Fels, Th. Stocks, F. Nusser, J. Büdel. In engem Kontakt zur Wissenschaft der Geographie standen die Ozeanographen: A. Defant, G. Wüst, G. Böhnecke, G. Dietrich. Diese Verbindung besteht heute leider nicht mehr. K. H. Paffen [1964]: „Maritime Geographie“ weist in seiner Arbeit darauf hin, daß sich die Geographie als Wissenschaft nur des Festlandes entwickelt hat und die „Geographie des Meeres“ in Forschung und Lehre kaum behandelt wurde; das ist auch die Ursache dafür, daß der Bestand an Büchern, Meeresatlanten und Zeitschriften in den Bibliotheken Geographischer Institute zu diesem Thema zumeist so gering ist.

Das Meer und die Küste als Forschungsgegenstand

Die Meereskunde hat sich in Grundlagenforschung und anwendungsbezogenen technischen Fachrichtungen zu einer weit verzweigten interdisziplinären Wissenschaft entwickelt. (Eine solche Entwicklung hat auch die Geographie erfahren.) Die Entwicklung der Meeresforschung darzustellen, ist zum Verständnis des Stoffes der Geographie des Meeres unbedingt erforderlich (Kap. 4).

Die moderne Meeresforschung ist rund 100 Jahre alt. Ihr Beginn wird allgemein in das Jahr 1872 datiert, in dem das Schiff „Challenger“ seine Forschungsreise um die Erde antrat. Mit dem Tiefseebohrschiff „Glomar Challenger“, das um 1970 seine Tätigkeit aufnahm, begann die intensive Erforschung der tieferen Schichten des Ozeanbodens. Das globale System der Mittelozeanischen Rücken wurde entdeckt. Als revolutionäre Neuerungen in der Erforschung der Ozeane wirkten sich die Nachrichtentechnik und die Weltraumfahrt

mit Fernerkundungsmethoden mit Satelliten aus. Damit konnten synoptische Aufnahmen, z. B. der Packeisregion der Polarzone, gewonnen werden. Die Fernerkundungsmethode und ihre Ergebnisse für die Ozeane und die Küsten wurden in diesem Buch verwendet (Kap. 6—11).

Das Meer ist vergleichbar mit einem Patienten auf der Intensivstation: Es liegt an zahlreichen Kabeln und Schläuchen, von denen meßbare Parameter zur Datenbank geliefert werden. Aus ihnen lassen sich Erkenntnisse gewinnen; ein Gesamtbild der Krankheit und des „Meßobjektes“ liefern sie jedoch nicht. Aus einer Modellrechnung auf so gehobener Ebene werden Prognosen möglich, als Entscheidungshilfen für wirtschaftliche und politische Maßnahmen werden so gewonnene „Scenarios“ erstellt.

Die im Meer ablaufenden Prozesse sind vielgestaltig, die Wechselwirkungen zu einem großen Teil nicht linear, zu einem großen Teil irreversibel. Da anthropogene Wechselwirkungen in bezug auf diese Kategorien bestehen und die Verhältnisse auch regional-spezifischen Charakter haben, sollte auch die Geographie ihren Beitrag zur Forschung leisten. Die Meeresforschung ist aufwendig; sie erfordert einen großen Einsatz an Personal, Material und an finanziellen Mitteln. Sie ist nur in einigen Bereichen spezieller Forschungszweige quantifizierbar wie in der Korrelation zu marktfähigen Gütern wie Erdöl, Minerale (Kap. 6—8, 11). Der hohe Aufwand der Meeresforschung an kollektiven Gütern wie Schadensverhütung, Küstenschutz, Wettervorhersage ist nicht quantifizierbar.

Es ist dringend an der Zeit, die mit hohem Aufwand gewonnenen Erkenntnisse über das Meer als Lebensraum konsequenter als das bis jetzt der Fall war, zu seiner Erhaltung anzuwenden, und das heißt in erster Linie, das erreichte Wissen hinreichend bekannt zu machen. Die vorliegende Veröffentlichung soll der Information über das Weltmeer, seinen Ozeanen und seinen Küsten als Lebensraum dienen und hofft, einen breiten Kreis von Interessenten anzusprechen.

Ozeane und Küsten als Wirtschafts- und als Freizeitraum

Die Bedeutung des Meeres als Umwelt hat in den letzten Jahren ständig zugenommen und wird in der Zukunft noch weiter zunehmen: als Träger eines riesigen Vorrats an Mineralien und Energievorkommen, als Erholungsraum und als Verkehrsträger. Die seit jeher bestehende Funktion des Meeres als Verkehrsweg wird weiter ausgebaut werden; einige Verkehrswege des Meeres haben schon jetzt eine den Autostraßen vergleichbare Verkehrsdichte. Mit dem Seeverkehr werden 90 % des globalen Frachtaufkommens bewältigt, von der Bundesrepublik Deutschland im Jahre 1978 144 Mio. t. Diese muß, um ihre gegenwärtige Lebenshaltung aufrecht zu erhalten, täglich mit mehr als 300 000 Tonnen Gütern versorgt werden, die über die Ozeane herangeschafft werden.

Das Thema „Meer“ ist dementsprechend von großer Aktualität. Das drückt sich schon in der Tagespresse aus: Es vergeht kaum ein Tag, an dem nicht über mindestens einen Aspekt des Meeres berichtet wird. Die Meldungen berühren Fragen der Schifffahrt, Fischerei-Konflikte, die Ausrottung ganzer Arten von Meerestieren wie Robben und Wale sowie die Dezimierung einiger Fischarten in bestimmten Fanggründen, Rohstoffgewinnung (Minerale, Erdöl), Süßwassergewinnung, Energieerzeugung, Beeinflussung des Klimas (Eiszeit- oder Warmzeitrend?), Rechtsverhältnisse, Meeresforschung, Freizeit und Erholung, Verunreinigung und Verseuchung des Meeres durch gefährliche, schwer abbaubare Pflanzenschutzmittel, durch Industriegifte, Ölpest und radioaktive Abfälle, die ins Meer versenkt werden (Kap. 7), Katastrophen wie Erdbeben, Seebeben, Tsunamis (Kap. 6), Stürme (Kap. 7), Vereisung (Kap. 8), wie im schweren Eiswinter 1979 in der Ostsee. Und schließlich steht das Meer im Streitfeld wirtschaftlicher und militärischer Interessen; zwei Weltkriege sind auf den Ozeanen ausgetragen worden.

Die Rolle des Meeres für Freizeit und Tourismus ist evident. 45 Millionen Touristen suchen alljährlich die Küsten des westlichen Mittelmeeres auf. Selbst entlegene Inseln und Meeresräume wie Grönland, Spitzbergen und die Antarktis sind davon nicht ausgenommen. Dieser „Massentourismus“ hat bereits zu ernsthaften Beeinträchtigungen im Küstenraum geführt: Die durch „Landschaftsverbrauch“ für Freizeit-Nutzung entstandene Konfliktsituation ist offensichtlich (Kap. 11).

Die Ballungsräume der Bevölkerung nehmen vor allem an den Küsten zu. Die Küsten werden über lange Strecken hinweg urbanisiert und industrialisiert.

Das Meer als Nahrungs-, Rohstoff- und Abfallraum

Für die Vorräte lebenswichtiger Rohstoffe auf den Kontinenten ist voraussehbar, wann diese natürlichen Ressourcen erschöpft sein werden. Auch die Nahrungsproduktion für die rapide wachsende Weltbevölkerung – 1930 waren es 2 Milliarden, 1960 3 Milliarden, 1975 4 Milliarden, und die Prognose für das Jahr 2000 bewegt sich zwischen 6 und 7 Milliarden Menschen bei weiterer exponentieller Wachstumsrate — kann nicht beliebig gesteigert werden. Diese bedrohliche Situation — die ungünstige Rohstoff- und Nahrungsentwicklung auf der einen, die rasante Bevölkerungszunahme auf der anderen Seite — ist ein globales Problem unserer Zeit und stellt die Wissenschaft vor die Aufgabe, neue Möglichkeiten und neue Kapazitäten zu erschließen. Aufgrund dieser Tatsachen ist die steigende Bedeutung des Meeres als des größten Lebensraumes der Erde evident.

Mit der Entwicklung der Technologie zur Gewinnung von Erdöl und Erdgas auf den Schelfen sind einige Schelfregionen zu Industrieseen geworden. Auf

Bohrungsplattformen offshore und Zubringern finden 40 000 Menschen Arbeit, allein in der Nordsee 5000 Beschäftigte auf 40 Bohrplattformen.

Prognosen des Club of Rome besagen, daß, wenn die Menschheit weiterhin Raubbau an den natürlichen Ressourcen betreibt und wenn dem bisherigen Trend nicht ernstlich Einhalt geboten wird, mit dem Eintritt einer katastrophalen Situation zu rechnen ist. Die Modelle von Prognosen, dargestellt in Zeitabschnitten, „Scenarios“, werden diskutiert. Die Biosphäre der Ozeane und Küsten wird durch die Technosphäre verändert und zum Teil irreversibel geschädigt. Ozeane und Küsten unterliegen einem komplexen Wirkungsgefüge. Wassermassen, Strömungen und Wellen, Meereis und biologischer Stoffwechsel bedingen mit Energietransport und Wärmeumsatz unsere gesamte Umwelt mit.

Marine Ökosysteme werden zerstört, weil Ökonomie vor Ökologie Vorrang hat. Die Idee vom steigenden Wachstum wird propagiert, ohne das natürliche Wirkungsgefüge auf der Erde, besonders das des Meeres, einzubeziehen.

Die ökonomischen Entscheidungen aber werden in politischen Gremien getroffen, deren Legislatur, Denken und Erfolgswang sich in Zeitabschnitten von zwei bis vier Jahren abspielen. Die Veränderungen der Zustände des Meeres dagegen ereignen sich in Zeitabschnitten von 10, 100, 500 und mehr Jahren. Raubbau in der Gegenwart heißt Zerstörung der Zukunft. Wenn aber heute der Meeresboden als Reservoir für Atommüll und andere Schadstoffe benutzt wird, so werden damit Verantwortungen für 2000 Jahre und länger übernommen. Erkenntnisse über das Gefährdungspotential und Abschätzungen der Risikoakzeptanz klaffen noch weit auseinander. Das zeigt sich besonders deutlich am Beispiel Meer.

Aufteilung des Meeres in Wirtschaftszonen

Der Ertrag aus der Meeresfischerei hat sein Optimum bereits überschritten. Zahlen über die „riesige Biomasse“ im Meer sowie Hoffnungen auf eine ausreichende Eiweißversorgung durch neue Nutzungsformen, zum Beispiel des Krills, der Kriebstierchen in südpolaren Meeresräumen um die Antarktis, können über die realisierbaren Ergänzungsmöglichkeiten hinwegtäuschen. Innerhalb einer Zone von 200 sm um die Kontinente befinden sich 85 Prozent der nutzbaren Fischbestände und 100 Prozent des nutzbaren Erdöls (offshore) (Kap. 6, 7). Um die Besitzrechte dieser wertvollsten Region der Ozeane, der Wirtschaftszone (EEZ — Exclusive Economic Zone) mit den Bodenschätzen und nutzbaren Fischbeständen zu vereinbaren und unter Kontrolle zu bringen, tagen Seerechtskonferenzen (Kap. 12). Probleme bereiten hier die sich verhärtenden gegensätzlichen Auffassungen über die Nutzungsrechte zwischen den Anliegern und den vom Meer abgeschlossenen Nationen sowie zwischen

den Industrieländern und den Entwicklungsländern. Bei dieser Aufteilung des Naturraums Meer und Küste ist die Bundesrepublik Deutschland eines der armen Länder.

Bislang bleibt es bei den Kommunikués über Meeresboden und -räume, mit dem Meer als dem gemeinsamen Erbe der Menschheit, der „commune héritage“. Die genaue Kenntnis der Morphologie des Meeresbodens, insbesondere der Schelfregion, ist für die Aufteilung und Nutzung des Meeres unabdingbare Voraussetzung. Vgl. Kap. 6 u. 12.

Stoffumfang und Stoffdarstellung

Der Stoffumfang ist mit diesem Buch zum Thema „Geographie des Meeres, der Küsten und Ozeane“ erstmals in größerem Rahmen abgesteckt worden. Wegen mehrfacher Behandlung des Stoffes anderer geographischer Fachrichtungen in anderen Büchern hat sich inzwischen dort ein „Durchschnitt der Menge“ herausbilden können. Eine solche Diskussion steht zum vorgelegten Thema erst bevor.

Stoffauswahl

Die subjektive Stoffauswahl für dieses Buch entspringt der spezifischen Begegnung des Autors mit dem Sachgebiet der Geographie des Meeres und der Küsten:

1. Aus der wissenschaftlichen Tätigkeit: Aus dem Studium der Geographie, Ozeanographie, Mathematik, Biologie in Hamburg bei L. Mecking, K. Kalle, P. Raethjen, G. Dietrich, W. Hansen, H. Caspers, F. Nusser, K. Brocks; aus der 30jährigen Tätigkeit in Forschung und Lehre im Fach Geographie zur Geographie des Meeres und der Küsten an den Universitäten Hamburg und München, als Gastprofessor in Berkeley, Kalifornien, und Baton Rouge, Louisiana. 2. Aus der Feldforschung: Aus der Teilnahme an Reisen auf Forschungsschiffen und an Arbeitsgruppen, aus der Durchführung von Forschungsreisen an Küsten. 3. Aus der praktischen Tätigkeit: Aus der Praxis der Seefahrt als Marineoffizier, aus der Praxis angewandter Arbeiten (Kartierung und Luftbildauswertung von Küsten und Küstengewässern). 4. Aus der persönlichen Begegnung: Aus der Zusammenarbeit mit Kollegen des Faches und der Seefahrt im In- und Ausland.

Meinem Vater, dem Lt. Ing. des Marineingenieurwesens, Richard Gierloff-Emden, der eine mehr als 25jährige Seefahrzeit erlebte, verdanke ich es, schon früh mit dem Interessengebiet der Seefahrt vertraut gemacht worden zu sein.

Stoffumfang

Den als Ziel angestrebten Stoffumfang adäquat darzustellen, brachte das Problem der Informationsverarbeitung mit sich. Die generelle Schwierigkeit stellte sich durch die allgemeine „Wissensexpllosion“.

Das besondere Problem ist durch die Entwicklung der speziellen Wissenschaftsdisziplin, der Meereskunde, und der mit ihr verbundenen Technologien gegeben. Die Meereskunde zählt zu den Disziplinen, bei denen sich eine Verdoppelung des Wissens in sehr rascher Sequenz vollzogen hat, wie Chemie, Biologie, Raumfahrt, Elektronik: Verdoppelung in Zeitintervallen von 6 Jahren bis zu 3 Jahren. Die „Oceanic Abstracts“ soll jährlich 9000 neue Artikel vorstellen. Ebenso wie diese Wissenschaften hat die Meereskunde in den vergangenen 25 Jahren nicht nur eine Evolution, sondern eine Revolution erlebt.

Als regionalen Beispielen wurde den europäischen Regionen des Meeres und der Küstenräume der Vorzug gegeben.

Wegen der Nähe des Themas zu Tagesereignissen unserer Umwelt, Ozeane und Küsten wurden als Beispiele „aktuelle Fälle“ dargestellt.

Stoffordnung

Der in der vorliegenden Arbeit behandelte Stoff wurde in 12 Hauptkapitel gegliedert:

- Band I Kap. 1 Definition; 2 Größenverhältnisse des Raumes; 3 Entdeckung; 4 Forschung; 5 Karten; 6 Morphologie des Meeresbodens; 7 Der Wasserkörper des Meeres;
- Band II Kap. 8 Meereis (Kaltwasserregion); 9 Eustatische Meeresspiegelschwankungen; 10 Korallen (Warmwasserregion); 11 Die Küsten; 12 Rechtsverhältnisse

Raum	Der Meeresboden „Das Gefäß“	Das Meer „Der Wasserkörper“	Die Küste „Der Randsaum“
Stoff	Boden: Lithosphäre	Hydrosphäre	Lithosphäre Atmosphäre Hydrosphäre
Grenzflächen	untere Grenzfläche Wasserkörper gegen Boden	obere Grenzfläche Wasserkörper gegen Atmosphäre	– Tripel Interface – zw. Lithosphäre, Hydrosphäre, Atmosphäre

Stoffdarstellung

„Versuche, größere Wissensgebiete und Gemeinsamkeiten zu durchforschen, können niemals den Grad der Perfektion wie enge Spezialforschung erreichen. Aber man kann nicht die Spezialisierung beklagen und andererseits solche Zusammenhänge schelten.“ K. Steinbuch [1965]: Automat und Mensch.

Die Darstellung des Stoffes entspricht keinem Raster mit genormter Größe der Felder für die behandelten Themen: Es wurden Schwerpunkte nach Umfang und Intensität der Behandlung gebildet. Abstraktion und Sachinformation sollen in einem Verhältnis zueinander stehen, das den Forderungen nach Transpa-

renz der Zusammenhänge und der Lesbarkeit entspricht. Eine Redundanz wurde in gewissem Ausmaß bewußt angestrebt, um die gleiche Information bei mehreren Problemen zu geben.

Teilaspekte, die durch Kursivüberschriften gekennzeichnet sind, sind im Inhaltsverzeichnis nicht aufgeführt, sie sind nach ihrem Stichwort in das Sachregister aufgenommen.

Maßsysteme: Während der Zeit der Herstellung dieses Buches wurde im Jahre 1977 ein neues Maßsystem der physikalischen Maße eingeführt. Eine Änderung bisher üblicher Einheiten und ihrer Abkürzungen konnte nicht mehr vorgenommen werden. Es wurden übliche, lesbare Abkürzungen verwendet, nicht ganz einheitlich, so wie es durch die Übernahme aus verschiedenen Publikationen bedingt ist.

Als Problem ist die Entwicklung einer technischen Sprache mit polylingualem Vokabular zu berücksichtigen, wegen der Entwicklung von Raumfahrt, Elektronik und Ozeanographie sind englisch-amerikanische Begriffe geschaffen worden. Diese wurden zum Teil direkt übernommen.

Zu den Abbildungen

Als Abbildungen werden Karten und graphische Darstellungen bezeichnet. Sie sind kapitelweise numeriert und durch Vermerk eines Schlagwortes zum Thema im Stichwortverzeichnis erfaßt. Einzelne Abbildungen erscheinen in mehreren Kapiteln, wenn die Präsenz notwendig ist. Die Abbildungen wurden zum Teil neu entworfen, wenn übernommen, zu einem großen Teil neu gezeichnet. Da zum Teil Abbildungen übernommen werden müssen, in denen Abkürzungen und Zeichen für dieselben Termini unterschiedlich verwendet sind, konnte eine einheitliche Darstellung der Legenden, der Maßstäbe, der Projektion bei Karten und eine einheitliche Darstellung der Meßbezeichnungen nach Maßsystemen und Dimensionen bei graphischen Darstellungen nicht erreicht werden. Einige Darstellungen mit vorwiegend fremdsprachlicher Wortprägung sind auch in der Originalsprache wiedergegeben. Der natürliche visuelle Eindruck vom Meere ist für den Menschen die Farbigkeit des Objektes, die sich in spektraler Vielfalt mit zahlreichen Nuancen ergibt, die einen wesentlichen Teil der Wirklichkeit des Meeres und der Küsten ausmachen. Aus Kostengründen mußte auf Farbphotos verzichtet werden. Kleindruck (Petit) wurde ausgenutzt für: Literatur, Zitate, Zusammenstellungen, Ordnungsschemata.

Es wurde angestrebt, Zusammenhänge in Form von Ordnungsschemata darzustellen. Ordnungsschemata wurden zum Teil vom Autor entworfen, zum Teil übernommen. Damit wurde der Tendenz entsprochen, zusammenhängende Sachverhalte in Form von Wirkungsgefügen auszudrücken (Form kybernetischer Schemata oder Matrix). Wenn es einst hieß, „Seefahrt ist not“, so müßte es heute heißen: Die Verbreitung des Wissens der Umwelt Ozeane und Küsten ist not!

Zur Arbeit an diesem Buch

Den zahlreichen Kollegen, die mir geholfen haben, indem sie mir wissenschaftliches Material und Abbildungen überlassen haben, bin ich zu großem Dank verpflichtet. Herrn Doz. Dr. U. Rust danke ich für Mithilfe bei Durchsicht des Kapitels 6, Morphologie, dem Karthographen, Herrn Ing. J. Bregel, für seine Bemühungen um die graphische Gestaltung der kartographischen Arbeiten, sowie Frau V. Kraus für Repro-Arbeiten. Herrn cand. rer. nat. H. U. Schmitz sage ich Dank für die Ordnung von Bibliographie und Stichwortverzeichnis.

In der Autorenredaktion mit der Vielzahl von Arbeiten wie Manuskriptschreiben und -kontrolle, Satzkorrekturen und Vorbereitung des Layouts arbeitete meine Frau Lilo Gierloff-Emden über viele Jahre. Sie nahm auch an zahlreichen Arbeiten an Küsten teil.

Herrn Prof. Obst und Herrn Prof. Schmithüsen danke ich für die Aufnahme in die LAG-Reihe als Autor. Der Verlag Walter de Gruyter brachte während der langen Herstellungszeit viel Geduld und Verständnis auf. Sachkundige Beratung wurde mir durch Herrn Dr. R. Weber und Herrn G. Anschau zuteil.

München, September 1979

Hans-Günter Gierloff-Emden

Inhalt

Teil 1

1. Wissenschaft vom Meere	1
Definition und Gliederung der Meereskunde	1
Geographische Sachverhalte, Wirkungsgefüge und Probleme als „Geographie des Meeres“	6
Das Meer als Hydrosphäre der Erde und seine Grenzflächen	6
2. Größe und Gliederung der Ozeane	13
Die Gestalt der Erde und der Meeresspiegel	13
Größe des Weltmeeres, der Ozeane und der Meere	17
Horizontale Gliederung des Weltmeeres und der Ozeane	24
Abgrenzung der Ozeane	24
Namen der Ozeane und Meere	29
Vertikale Gliederung des Weltmeeres und der Ozeane	31
Großformen zur vertikalen Gliederung	33
Tiefseeegräben und größte Meerestiefen	40
Inseln in den Ozeanen	41
3. Die Einbeziehung der Ozeane als Lebensraum des Menschen	45
Ausbreitung der Besiedelung über ozeanische Räume und frühe Seefahrt	45
Frühe Seefahrt	46
Mittelmeer und Arabischer Raum	47
Andere Räume früher Seefahrt	50
Schiffe der frühen Seefahrt und die Bedeutung der Baumaterialbe- schaffung für die Veränderung der Umwelt	52
Forschungsmethoden zur frühen Seefahrt	54
Schiffswracks als Zeugen früheren Schiffbaues und früherer Schifffahrt	55
Ausbreitung der Besiedelung über große ozeanische Räume	59
Frühe Seefahrt über den offenen Ozean im Raum Melanesien, Mikro- nesien, Polynesien	59
Frühe Seefahrt über den offenen Ozean im polynesischen Raum und Verbreitung von Kulturpflanzen	61
Die Drift Thor Heyerdahls mit dem Floß „Kon-Tiki“ über den Pazifischen Ozean	62

Frühe Seefahrt über den offenen Ozean im polynesischen Raum und seine geographischen Voraussetzungen	63
Die ozeanischen Bedingungen der Seefahrt über den offenen Ozean im polynesischen Raum	69
Polynesische Boote und die Durchführung von Reisen im Pazifischen Ozean	73
Frühe Seefahrt über den offenen Ozean im nordatlantischen Raum zwischen Nordeuropa, Island und Grönland	75
Schiffstypen im atlantischen Europa und Nordeuropa zur Überquerung des offenen Ozeans	77
Seefahrt mit dem Schiffsboot über den Atlantischen Ozean	84
Entdeckung der Welt auf dem Seewege vom Abendland aus und die Teilung der Welt	85
Entdeckungsreisen und Entdeckungszeitalter	85
Entdeckungsreisen und Überquerung der drei großen Ozeane	87
Schifffahrt, Schiffbau, Holzwirtschaft und die Veränderung der Umwelt	96
Von den Entdeckungsreisen zu Forschungsreisen auf den Ozeanen	102
Ozeanographische Forschungen im 16. und 17. Jahrhundert	102
Seefahrt und technische Innovation. Navigation und Einführung von Instrumenten	103
Ozeanographische Forschungen im 18. Jahrhundert	108
Zur Geschichte ozeanographischer Arbeiten im 19. Jahrhundert	110
Entwicklung der Erforschung von Ozeanen und Küsten infolge wirtschaftlicher Anforderungen	114
4. Einhundert Jahre Meeresforschung, von der Challenger-Expedition 1872 bis 1876 bis zum Tiefseebohrprogramm der Glomar Challenger 1968 bis 1976	119
Gliederung, Entwicklung und Aufgabenstellung der Meeresforschung ...	119
Entwicklung der modernen Meeresforschung in 4 Phasen	120
Die Expeditionen der „Challenger“ (1. Phase) und die internationale Entwicklung	121
Der deutsche Beitrag zu meereskundlichen Expeditionen und die Entwicklung der deutschen Meeresforschung	123
Entwicklung von Instituten und Diensten zur Meeresforschung (und Küstenforschung) in Deutschland	131
Systematische Erkundung großer Ozeanräume (2. Phase)	
Die deutsche Atlantische Expedition der „Meteor“ 1925 bis 1927	132
Übergang zur wiederholten und zur synoptischen Erforschung von Meeresräumen	141
Ozeanographische Forschungen vom Flugzeug und Luftschiff aus	142
Internationale Unternehmungen bis 1939	143
Spezielle Probleme der Forschungsziele (3. Phase)	144
Synoptische Aufnahme ozeanischer Räume und internationale Programme zur Meeresforschung (4. Phase)	145

Die moderne Meeresforschung und ihre Aufgaben, Methoden und Geräte	149
Meeresforschung als wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Faktor	153
Forschungsschiffe	157
Die Vorhersage von Zuständen ozeanographischer Phänomene und Prozesse	162
Größenverhältnisse, Modell und Experiment ozeanographischer Objekte und Systeme	164
Meßwerte (Daten) und ihre Bedeutung für die Meereskunde	166
Ozeanographische Geräteträger und ihr Einsatz zur Gewinnung von Daten mit Meßinstrumenten	178
Bemannte Unterwasserfahrzeuge (Submersibles)	186
Menschen tauchen zur Erforschung der Meere	196
Unterwasserphotographie	200
Entwicklung von Meeresforschung und Technologie	203
Bionik in der Meereskunde	204
Tiefbohrungen in den Ozeanböden. Projekt JOIDES mit der Glomar Challenger	205
Weltraumfahrt und Fernerkundung (Remote Sensing) für die Meereskunde	208
5. Aufnahme und Darstellung des Meeres mit seinen Böden und Küsten auf Karten	209
Einführende Bemerkungen zur Aufnahme und Darstellung des Meeres auf Karten	209
Ortsbestimmung und Wege auf See in bezug auf geographische Koordinaten	211
Räumliche Koordinaten der Ortsbestimmung für ozeanographische Daten	211
Methoden und Systeme der Ortsbestimmung auf See	214
Richtung und Geschwindigkeit (Fahrt) eines Schiffes	220
Ortsbestimmung und Vermessung von Meeresbodenformen vom fahrenden Schiff	225
Lotungen. Die punktweise und linienweise Aufnahme der Topographie des Reliefs des Meeresbodens	227
Ortsbestimmung, Echogramme und Profil des Reliefs	234
Vermessung der Morphologie des Meeresbodens: Side-Scan-Sonar . . .	237
Bathymetrische Karten	240
Karten der Meerestiefen in Atlanten	245
Die Internationale Bathymetrische Karte der Ozeane	245
Spezielle bathymetrische Karten der Ozeane	248
Einsatz von Computern zur Herstellung bathymetrischer Karten	252
Seekarten	255
Seezeichen, ihre natur- und kulturgeographische Bedeutung	257
Zur Entwicklung von Seehandbüchern und Seekarten	260
Das deutsche Seekartenwerk	266

Seekartenwerke	269
Darstellung von Tiefenangaben in Seekarten und Zeichen und Abkürzungen	271
Die Genauigkeit der Darstellung der Bodenformen in Seekarten	274
Der Bezugshorizont für Tiefenangaben in Seekarten (Seekartennull) ..	275
Wirtschaftliche Bedeutung und Laufendhaltung der Seekarten	280
Seevermessung	282
Bedeutung von Satellitenaufnahmen für Herstellung und Korrektur von kleinmaßstäbigen Seekarten	284
Maße in Seekarten	288
Netzentwürfe für Karten des Meeres und der Ozeane	289
Karten-Netzentwürfe für Seekarten	289
Großkreiskarten	290
Kartennetze für Weltkartendarstellungen (Planisphären), Karten des Meeres und der Ozeane (große sphärische Flächen) in kleinen Maßstäben	292
Das Weltmeer als Wasserkörper und seine Darstellung auf Karten ...	295
Polyeder-Projektion	299
6. Geomorphologie des Meeresbodens	301
Morphologie der unteren Grenzfläche des Meeres	301
Die Entwicklung der Kenntnis von den Bodenformen der Ozeane ...	301
Die Gliederung der Formen des Meeresbodens	308
Untermeerische Bodenformen von Th. Stocks (1958/59)	311
Die Mittelozeanischen Rücken	314
Die Schelfe	323
Der Kontinentalabhang	347
Submarine Canyons	360
Canyons als Wirtschaftsregionen	372
Submarine Canyons und Deltas in der Problematik der allgemeinen Geomorphologie der Erde	375
Massentransport am Meeresboden durch Turbidity Currents	381
Deep Sea Channels	385
Tiefseebecken (Abyssal Plains und Tiefsee-Ebenen)	387
Tiefseekuppen: Seamounts und Guyots	393
Vulkanismus, Vulkane und vulkanische Inseln in den Ozeanen	402
Tiefseeegräben	419
Tsunamis, katastrophale Flutwellen, verursacht durch Erdbeben und Vulkanismus in den Ozeanen	427
Zur Entstehung der Ozeane	431
Die Mittelozeanischen Rücken	433
Bruchzonen mit tiefen Rinnen im Mittelozeanischen Rücken	436
Erdbeben in den Ozeanen, an Rücken und Rändern	443
Die Deutung sichtbarer Phänomene als Sea-Floor-Spreading-Prozeß ..	445
Der Einblick in das Geschehen des Sea Floor Spreading im Golf von Kalifornien in der Region des Rio-Colorado-Deltas	447

Der Einblick in das Geschehen von Grabenbildung (Sea Floor Spreading?) mit Hilfe des Remote Sensing am Beispiel der subaerischen Regionen am Golf von Aden	448
Sea Floor Spreading	452
Sea Floor Spreading und Paläomagnetismus (Altersbestimmung des Ozeanbodens) mit Hilfe magnetischer Messungen	453
Kontinentalverschiebung und Entstehung der Ozeane	458
Kontinentalverschiebungen und die Theorien des Sea Floor Spreading und der Plattentektonik	459
Plattentektonik: Begriff und Modellvorstellungen	463
Das „Deep Sea Drilling Project“ mit dem Bohrschiff „Glomar Challenger“	468
Zur Entstehungsgeschichte des Mittelmeeres nach Tiefseebohrungen: das Mittelmeer als Salzpflanze und Wüste	473
Bau der Ozeane und wirtschaftliche und rechtliche Aspekte	474
Der Meeresboden, untere Grenzfläche und Grenzschicht der Ozeane zwischen Hydrosphäre und Lithosphäre	475
Kleinformen und Substrat: Sedimentation und Erosion	475
Der Tiefseeboden in photographischer Darstellung	477
Zur Erforschung des Tiefseebodens	485
Anthropogene Einflüsse auf die Sedimentation am Meeresboden ...	487
Die Sedimente der Tiefseeböden	488
Bohrkerne als Dokumente der Sedimentation am Meeresboden ...	496
Bedeutung der Sedimente für die Erforschung des Vorzeitklimas ...	498
Materialtransport von den Kontinenten zu den Ozeanen	500
Materialtransport im Durchfrachtungsraum der Küste	500
Materialtransport durch Flüsse	502
Materialtransport in das Meer durch Eis und Eisberge der Gletscher ..	505
Materialtransport in das Meer durch Wind: Sand- und Staubstürme ..	507
Gewinnung von Rohstoffen vom Meeresboden	514
Rohstoffe im Litoral, Schelf und in der Tiefsee	516
Manganknollen	518
Heiße Salzquellen aus dem Meeresboden und Erzschlämme	523
Erdöl und Erdgas in Regionen der Ozeane	524
Tafel zu Kapitel 6 „Tektonisch-Geologische Übersichtskarte der Ozeane der Erde“. Die Karte ist an der Einbanddecke hinten eingelegt.	
7. Der Wasserkörper des Meeres	533
Eigenschaften und Prozesse in der räumlichen Gliederung	533
Zur regionalen Gliederung des Weltmeeres	533
Geographischer Formenwandel der Ozeane und ihrer Wassermassen ..	535
Regionale Gliederung des Weltmeeres: hydrographische Regionen ...	539
Grenzschicht und Wechselwirkung Meer – Atmosphäre	547
Das Spektrum der Größenordnung (Scale) der Prozesse	547
Wechselwirkung Meer – Atmosphäre und atmosphärische Phänomene an und über der Grenzschicht	550

Nutzung der Energie der Atmosphäre zur Bewegung im Meer: Segeln, die Bewegung in der Grenzschicht	551
Das Wettergeschehen in der Grenzschicht, in seiner Bedeutung für Schiffssicherheit und -routen: Registrierung und Präsentation	556
Starke Wechselwirkungen Meer – Atmosphäre	564
Tropische Wirbelstürme und ihre Interaktion Meer – Atmosphäre ...	565
Tropische Wirbelstürme von den Ozeanen zu den Küsten mit katastrophalen Wirkungen	566
Wellen des Meeres: Seegang und Dünung	571
Die Erscheinungsformen der Wellen und ihre Ordnung nach den Kategorien Form, Größe und Bewegung als Feld der Deformation der Wasseroberfläche	573
Die Entstehung der Wellen und des Seeganges, der Dünung und Zerfall bis zur Brandung	581
Wasserbewegung und Fortbewegung der Wellen	584
Wellen und Dünung an Inseln und Küsten	588
Langperiodische Wellen in den Ozeanen	591
Gezeiten	593
Wellen, Seegang, und ihre Bedeutung für Schiffe und Schifffahrt	594
Energiegewinnung durch Meereswellen	602
Meeresströmungen	603
Beobachtung und Messung von Meeresströmungen	604
Darstellung von Meeresströmungen auf Karten	608
Meeresströmungen, Bewegungsformen und Ursachen	611
Zur Dynamik der Meeresströmungen	614
Die großen Strömungssysteme an der Meeresoberfläche	617
Zum komplexen Aufbau der Meeresströmungen	620
Wassermassentransport und Wasserkörper	627
Geologische und biologische Bedeutung von Meeresströmungen	629
Tiefenzirkulation im Weltmeer	630
Wassermassenaustausch der Ozeane mit Nebenmeeren	635
Auftriebswasser in den Ozeanen	639
Auftriebswasserregionen im Atlantischen und Pazifischen Ozean ...	642
Die Monsunregion im Indischen Ozean: Strömungssystem mit jahreszeitlichem Wechsel der Meeresoberfläche und Auftriebswässer	647
Große Meeresströmungen, ihre Regionen und ihre geographische Bedeutung: Beispiele Humboldtstrom und Golfstrom	651
Der Humboldtstrom (Perustrom) als Beispiel einer Meeresströmung der Passatstromregion (PÄ) und einer geographischen Region von Meer und Küstenlandschaft	651
Der Golfstrom als Beispiel einer Strömung der Freistrahregion (F) ..	665
Das Meerwasser und seine Eigenschaften	679
Das Weltmeer als größte Wassermenge der Erde	679
Wasserverteilung und Wasserhaushalt	679
Salzgehalt des Meerwassers	681

	Inhalt	XXI
Gewinnung von Rohstoffen aus dem Wasser des Weltmeeres		689
Temperaturen des Meerwassers: Verteilung, Wirkung, Bedeutung		691
Wassertemperatur des Meeres und Wärmeaustausch		699
Energiegewinnung aus Temperaturdifferenzen von Wassermassen		703
Dichte und Druck des Meerwassers		703
Das Meerwasser als Transportmedium für Wassertransport		705
Ausbreitung und Verwendung von Schall im Meerwasser		711
Das Licht und seine Wirkung im Meer		713
Nahrung aus dem Meer: Möglichkeiten und Grenzen		716
Fischfang und Ernährung		716
Primärproduktion der Pflanzen und Plankton im Meer		718
Fisch in der Nahrungskette im Meer und Fischfang		724
Versorgung der BRD mit Seefisch		732
Fischfang, Fischerei und geographische Aspekte		734
Nutzung, Dezimierung, Ausrottung von Meerestieren: z. B. Wale ...		736
Verschmutzung des Meeres		740
Schadstoffe und Umwelt		740
Meeresverschmutzung: Forschung, Literatur, Gliederung		741
Ballungsgebiete der Weltbevölkerung an Küsten und „Pollution“ ...		743
Die wichtigsten Verschmutzungskomponenten		744
Physikalisch-chemisches Verhalten von Schmutzstoffen im Meer		746
Langzeitwirkungen von Beeinflussung des Meeres durch Pollution ...		750
Maßnahmen gegen die Verschmutzung des Meeres		752
Verschmutzung des Meeres durch Öl		753
Supertanker, technische Revolution im Seeverkehr und das Risiko der Ölverschmutzung der Meere und Küsten		761
Literatur, Teil 1		1
Sachregister, Teil 1 und Teil 2 gemeinsam		XXV
Errata, Teil 1		XLVIII
 Teil 2		
8. Meereis		767
Phänomene, Genese und Morphologie		767
Zur Erforschung des Meereises		769
Das Meereis als komplexe Erscheinung		771
Das Meereis als Substrat		773
Eisbildung und Gefriervorgänge		774
Eisbildung auf dem Meere und Struktur der Meereisdecke		778
Eisnomenklatur		788
Formen des Meereises und Definitionen (Klassifikation)		790
Eisbildungsphänomene an der oberen Grenzschicht des Meeres		794
Schiffsvereisung, eine Erscheinung der Grenzschicht Hydrosphäre – Atmosphäre (Ozean – Luft)		795

Meereis an Küsten	798
Eisbildung am Strand	800
Eis und Eisbildung auf Watten	802
Eisbildung an Steilküsten	805
Das Meereis des Nordpolarmeeres und seiner Randmeere	807
Zur Erforschung des Nordpolarmeeres und des polaren Meereises ...	811
Nansen's Drift mit der „Fram“ im Nordpolarmeer	813
Die Driftbewegungen des arktischen Meereises des Nordpolarmeeres mit seinen Randmeeren	819
Die Dynamik des Meereises im Nordpolarmeer nach Drifteis-Stationen	823
Die jahreszeitliche Schwankung der Eisbedeckung des Nordpolarmeeres	828
Form des Meeresbodens des Nordpolarmeeres	830
Bilanz und Wassermassenaustausch des Nordpolarmeeres mit dem Atlantischen und Pazifischen Ozean	832
Die Vereisung des Nordpolarmeeres und seiner Randmeere in ihrem Zusammenhang mit dem Wasserhaushalt	833
Anthropogene Eingriffe und Projekte zur Veränderung der polaren Umwelt	835
Eis des Meeres als Hindernis für den Seeverkehr	836
Das Eis als besondere Grenzschicht des Meeres für die Schifffahrt ...	837
Die Nordostpassage, arktischer Seeweg zwischen Atlantischem und Pazifischem Ozean innerhalb des eurasischen Kontinents: der sibili- sche Seeweg	842
Der sibirische Seeweg	843
Die Nordwestpassage – arktische Seeverbindung zwischen Atlanti- schem und Pazifischem Ozean um den nordamerikanischen Kontinent	851
Erdöl in den Randmeeren des Nordpolarmeeres: Transportproblem und Ausbeute	854
Umweltbedingungen und Nutzung der arktischen Region	856
Meereis im Nordatlantischen Ozean und Nebenmeeren	859
Eisberge im Nordatlantischen Ozean und Eis um Grönland	859
Eiserkundung mit Luft- und Satellitenbildern	871
Die Vereisung der Ostsee	872
Zur Vereisung von Nebenmeeren in Nordamerika	882
Das Meereis im Jahreshaushalt	884
Wirkung und Mechanismus von Flußsystemen auf Wasser und Eis des Nordpolarmeeres	886
Eisbedeckung des Nordpolarmeeres und Klimaschwankungen	891
Das Meereis der Antarktis	895
Zur Erforschung des Meereises um die Antarktis	897
Die Eisschelfe: Größe, Form, Entstehung, Haushalt	899
Eisberge der Antarktis	902
Packeis der antarktischen Meeresregionen	904

Eisgrenzen und Wassermassen des Südpolarmeeres	906
Das Meereis, besonders der Antarktis, als klimatischer Faktor	908
Die Polkappen der Erde im Satellitenbild	909
9. Meeresspiegelschwankungen	911
Eustatische Meeresspiegelschwankungen	911
Morphologische und geologische Spuren, Wirkungen von Meeresspiegel- schwankungen	917
Terrassen an Küsten	920
Strandwälle, Strandwallebenen, Nehrungen und Meeresspiegelschwan- kungen	927
Submarine Terrassen vor Küsten	929
Isostatische Landhebungen und -senkungen	933
Meeresspiegelschwankungen in prähistorischer und historischer Zeit und ihre Wirkungen	935
Anthropogene Formen im Milieu der Küste als Zeitmarken für Meeresspiegelschwankungen	935
Landsenkung an Küsten	936
Wirkungen von Meeresspiegelschwankungen auf Küsten und Hafenaufbau Säkulare Wasserstandsänderungen des Meeres und Pegelstandsände- rungen	936
Anstieg des Meeresspiegels in historischer Zeit und versunkene Bau- werke (Archäologische Befunde)	937
Meeresspiegelanstieg, Nordseevorstöße, Sturmfluten und Beginn des Einflusses der Kulturbauten an der Nordsee seit 7000 Jahren	941
Veränderungen des Meeresspiegels im Zusammenhang mit Landbrücken und Wassermassenaustausch	946
10. Korallen; Riffe, Inseln, Küsten	952
Zur Biologie und Geologie von Korallen	955
Verbreitung und Formentypen von Korallenriffen und -inseln	958
Geographische und ozeanographische Bedingungen für Korallen	962
Formen der Korallenriffe	967
Theorien zur Entstehung der Korallenriffe und ihre Bedeutung für eustatische Meeresspiegelschwankungen	974
11. Küsten — Grenzraum zwischen Festland und Meer	981
Umwelt am Rande der Ozeane	981
Begriffe	981
Bedeutung der Küsten	983
Darstellung der Küsten auf Karten	984
Die Länge der Küsten	986
Anordnung, Gestaltelemente und Aktionsfelder der Küste	988
Eigenschaften und Gliederung der Küsten	990
Klassifikation von Küsten	994

Gezeiten: Erscheinung und Bedeutung für die Küsten	998
Die Gezeitenerscheinung	998
Zur Entstehung der Gezeiten	1005
Tidenkurve und Gezeitenkurve und Vorhersage	1008
Die Form der Gezeiten nach Tidekurven und Gezeitenkurven	1012
Änderung der Gezeitenerscheinung in geologischen Zeiträumen	1015
Gezeitenströmungen	1015
Bedeutung der Gezeiten für die Schifffahrt	1023
Bedeutung der Gezeiten für historische Ereignisse	1025
Die Bedeutung der Gezeiten für biologische Vorgänge	1026
Ausnutzung der Gezeiten zur Energiewandlung	1028
Nutzung von Gezeitenenergie, Beispiel Gezeitenkraftwerk Rance ...	1033
Gezeitenlandschaften	1037
Zur Morphologie und Hydrographie des Watts	1041
Das Watt als Landschaft	1053
Veränderung des Watts als Lebensraum durch Bauten und Industrie- maßnahmen	1057
Die Morphologie des Watts und ihre Vermessung	1059
Ästuar: gezeitenbedingte Phänomene des Randes der Ozeane an Kontinenten	1061
Mangrovevegetation in Lagunen und Ästuaren	1069
Marschen im Stockwerkbau der Gezeitenlandschaften	1072
Nutzbare Marschen als neues Land aus dem Meer	1075
Salzgewinnung aus Salztorfen in ehemaligen Marschgebieten und Zer- störung der Naturlandschaft des Gezeitenbereiches durch mensch- lichen Eingriff: Veränderung der Umwelt	1083
Die Besiedelung des Grenzraumes der Marsch: Flachsiedlung und Wurten	1086
Deiche und Deichbau	1087
Zerstörung der Marschen durch katastrophale Ereignisse	
Wirkungen von Sturmfluten auf Deiche und Marschen	1092
Atmosphärische und hydrographische Verhältnisse zu den Sturm- fluten im Nordseeraum	1098
Sturmfluten an Küsten außerhalb der Nordsee	1102
Natur und Technik in der Gezeitenlandschaft von Meer und Land ...	1102
Salzgewinnung aus dem Meer an Küsten im Gezeitenraum	1105
Meersalzgewinnung und Salzgartenlandschaft von Guérande-Croisic .	1106
Muscheln und Muschelkulturen im Gezeitenstockwerk	1112
Dynamik und Formen im engeren Grenzsaum der Küste	1115
Wechselwirkung Wellen-Brandung-Strand und Wind	1115
Der Strand im Prozeßfeld des Meeres: Form und Entstehung	1115
Wechselwirkung von Wellen, Meeresboden und Strand	1118
Materialtransport und Materialhaushalt im Küstenraum	1135
Strandwälle, Haken und Nehrungen	1139
Strand und Brandungszone als Landschaft und Lebensraum	1146
Erosion und Abrasion an Stränden und Küstenschutz	1151

	Inhalt	XXV
Dünen		1154
Lagunen		1162
Begriff und Verbreitung an Küsten		1162
Zur Entstehung von Lagunen		1164
Biogene Faktoren bei der Bildung von Lagunen		1168
Anthropogene Einflüsse bei der Nutzung von Lagunen und Lagunenlandschaften		1169
Der Wasserkörper der Lagunen und -austausch am Rand des Ozeans		1172
Gezeiten-Lagunen als Räume von Gesteinsbildung		1173
Venedig als Lagunenstadt		1177
Mexcaltitán: Prähistorische Lagunenstadt im Pazifischen Küstenraum Mexicos		1184
Lagunen zur Erweiterung des Lebensraumes am Beispiel Mexicos		1187
Lagunen als Regionen zur Anlage von Häfen		1188
Lagunenstädte in künstlichen Lagunen als Freizeitstädte		1189
Deltas		1190
Deltas als Siedlungs- und Nutzungsraum		1194
Küstenvorfeld und Flachsee: Dynamik und Formen		1195
Sandtransport, Außensände, Sandwellen und Rippeln		1195
Steilküsten und Küstenplattformen		1209
Küstenplattform als Interaktionsfeld von Wellen und Strömungen und Materialtransport im Stockwerk von Gezeiten und Brandung ..		1213
Formung von Küstenplattform und Kliffen an Steilküsten		1215
Bedeutung von Klimavarianz, Tektonovarianz und Petrovarianz bei der Bildung von Steilküsten		1223
Höhlen und Süßwasserquellen an Meeresküsten		1229
Das Brandungs- und Gezeitenstockwerk der Steiluferküsten und Felsplattformen als Biotop und seine Nutzung		1230
Vorkommen und Gewinnung von Meerespflanzen (Algen und Seegras) an der Küste, bedingt durch Gezeitenstockwerke		1233
Transgressionsformen des Meeres zum Land: Rias und Fjorde		1238
Besondere klimatische Erscheinungen im Küstenraum		1248
Die See-Landwindzirkulation		1249
Bedeutung des See-Landwindes für den Lebensraum		1253
Das thermische Verhalten von Luft und Wasser an der Küste und Küstenklima-Klassifikation		1256
Küstenklima als therapeutisches Klima		1256
Die Küste als Wirtschafts-, Erholungs- und Lebensraum		1259
Belastung und Erhaltung der natürlichen Küstenlandschaft		1270
Anthropogene Tätigkeiten und Interdependenz und Wechselwirkungen und Interessenkonflikte im Küstenraum		1272

Rechtsverhältnisse der Küste und des Küstenraumes	1273
Die Küstenlandschaft als Grenzraum: Land- und Seegrenzen	1273
Tafel zu Kapitel 11 „Gezeitenverhältnisse an den Küsten der Ozeane“.	
Die Karte ist an der Einbanddecke hinten eingelegt.	
12. Grenzen und Rechtsverhältnisse von Meeresgebieten und	
Meeresbodenzonen	1277
Bemerkungen zu Quellen und Entwicklung des Seerechts	1277
Freiheit der Meere und Hohes Meer	1279
Territoriale Gewässer und ihre Begrenzung	1280
Grenzzone zwischen Küste und Hoher See: Territorialgewässer	1282
Basislinie für Territorialgewässer in vertikaler Dimension	1283
Basislinie für Territorialgewässer in horizontaler Dimension	1284
Ausdehnung der Territorialgewässer von 3 sm bis 12 sm und navi- gatorische Bedingungen	1287
Seestraßen, Meerengen und Verkehrstrennungsgebiete	1288
Meereszonen, Meeresbodenzonen und Rechtsverhältnisse	1291
Kontinentalschelf, Festlandssockel, Wirtschaftszone von 200 sm	1292
Fischerei und Fischereizonen	1299
Pollution, Verschmutzung der Ozeane und Rechtsverhältnisse	1307
Umweltschutz und Rechtsverhältnisse auf See	1308
Seerechtskonferenzen	1309
Bilanz zur Erforschung, Nutzung und dem Schutz der Meere	1310
Literatur, Teil 2	55
Sachregister, Teil 1 und Teil 2 gemeinsam	XXVII
Errata, Teil 2	L

8. Meereis

Phänomene, Genese und Morphologie

Meereis ist eine Erscheinung der oberen Grenzfläche des Meeres bzw. der Grenzschicht zwischen Hydrosphäre und Atmosphäre. Es entsteht durch Wechselwirkung der Medien Luft und Wasser. Es sind bis zu 7 % des Weltmeeres von Meereis bedeckt. Zur Hydrosphäre des Meeres gehört ein Teil der Kryosphäre (Eis-Sphäre).

In der praktischen Bedeutung standen die Belange der Schifffahrt und Fischerei an erster Stelle der Meereisforschung. In der ozeanographischen und geographischen Wissenschaft waren regionale Aspekte vorhanden und zwar in besonderem Zusammenhang mit der Entdeckung und Erforschung der großen Eisregionen der Erde, den Polargebieten. Seit Mitte des 20. Jh. ist das Meereis in besonderem Maße Gegenstand der Forschung der geophysikalischen Disziplin geworden, sowohl in hydrographischer als in meteorologisch-klimatologischer Betrachtung (das erste Internationale Polarjahr fand 1882–83 statt). Im Jahre 1957–58 wurde das Internationale Geophysikalische Jahr, anschließend „Dekade“ veranstaltet.

Seit der Mitte des 20. Jh. sind außerdem einige Ereignisse und technische Innovationen hinzugekommen, durch welche die Meereisforschung sehr intensiviert wurde, z. B. die Entwicklung der Flugzeuge zur Überquerung der Polarroute (seit 1955) zwischen Europa, Nordamerika und Japan, die Entwicklung moderner Waffensysteme wie Atom-U-Boote, die unter dem Eis des Nordpolarmeeres fahren, die Entwicklung von Raketen, deren Reichweite die Überquerung des Nordpolarmeeres, das zentral zwischen Asien und Nordamerika liegt, ermöglichen, die Intensivierung von Schifffahrtsrouten im Nordpolarmeer, des sibirischen und amerikanischen Seeweges, die Intensivierung von Schifffahrtsrouten in winterlich vereisten Nebenmeeren wie Ostsee und St.-Lorenz-Golf, die allgemeine Nahrungssuche und Ausweitung der Fischerei am Rande vereister Seegebiete, die Suche nach Rohstoffen auf den Kontinentalschelfen mit der Entwicklung der Offshore-Bohrtechnik, die Intensivierung der Meteorologischen Dienste zur Wettervorhersage mit der Entwicklung von Satelliten, mit deren Hilfe großräumige Wetterkarten der Polarregion hergestellt werden, und schließlich die Entwicklung der Grundlagenforschung zu Meereis. Das Nordpolarmeer ist mit der technischen Innovation überschaubarer, „kleiner“ geworden. Die Entfernungen zwischen den Küsten Nordamerikas und Asiens betragen über den Pol nur um 3000 bis 4000 km.

Die hydrographischen Institute der Nationen hatten Eisdienste für die für ihre Schifffahrt und Fischerei interessanten Meeresareale eingerichtet. Der erste dänische Eisjahresbericht erschien 1897. Nach der Schiffskatastrophe der „Titanic“ wurde ein regelmäßiger Eiswarndienst für die Nordatlantischschifffahrt eingerichtet. Vgl. Kap. Eisberge.

Das ist eine Reihe von Aspekten, die auch geographische Probleme betreffen wie sie u. a. in übergreifenden Themen zum Ausdruck kommen, z. B. im Rahmen der Tagung der Deutschen Gesellschaft für Polarforschung, 4. Internationale Polartagung in München, 1973, „Die Eisgebiete der Erde in ihrer klimatischen und ökologischen Bedeutung“. In einigen modernen Büchern zur Ozeanographie ist diese Problematik meist nur sehr kurz behandelt, z. B. in der „Allgemeinen Meereskunde“, 3. Aufl., Dietrich, Kalle, Krauss, Siedler [1975] als kleineres Kapitel: „Eis im Weltmeer“ auf nur neun Seiten. (Bei Krümmel gab es ein größeres Kapitel, bei Bruns ein umfangreiches unter Betonung von Eisklassifikation und Meßmethoden, bei Scharnow eines unter Betonung der Belange der Ostsee-Schifffahrt.) Diese Feststellung soll keine Kritik bedeuten, jedoch die Notwendigkeit einer ausführlicheren Behandlung stützen. Für die polaren Räume mit ihren Ozeanen gelten besondere Rechtsverhältnisse. Sowohl im Nordpolarmeer als auch auf dem antarktischen Kontinent mit seinen Küsten wurde das „Sektorenprinzip“ eingeführt, wonach Anliegnationen (Antarktis auch andere) von ihren Küsten aus den Sektor bis zum Pol als Hoheitsgebiet beanspruchen. Da der kanadische Arktische Archipel 1930 noch nicht völlig bekannt und kartiert war, gab es vor dieser Zeit noch Auseinandersetzungen um einzelne Inseln mit den USA.

H. P. Kosack [1967]: Die Polarforschung. P. D. Baird [1964]: The Polar World. A. G. Shalowitz [1962]: Shore and Sea Boundaries. L. Breitfuß [1939]: Arktis. L. Breitfuß [1950]: Erforschung der Polargebiete 1932 bis 1947. R. V. A. Thorén [1964]. D. Mountfield [1974]: A History of Polar Exploration.

Das Meereis kommt permanent in den polaren Regionen des Weltmeeres vor. Die polaren Regionen des Weltmeeres sind den drei großen Ozeanen zugehörig. Die Umgrenzung und Namengebung der einzelnen Meere und Seen wird auf speziellen Karten dargestellt. In der deutschen Sprache sind die übergreifenden Bezeichnungen: „Nordpolarmeer“ und, mit den Zusätzen vorangestellt: Atlantisches, Indisches, Pazifisches „Südpolarmeer“ geläufig. Die Bezeichnungen Arktischer und Antarktischer Ozean sind häufig im Sprachgebrauch, jedoch nicht im Sinne der ozeanographischen-geographischen eindeutigen Benennung benutzt.

„1845 wurde in London von einer Kommission der Royal Geographical Society beschlossen (veröffentlicht 1893, Geogr. J. 1, 535 ‚Nomenclature of the Oceans‘), einen selbständigen antarktischen und arktischen Ozean anzunehmen, jeweils durch die Polarkreise zum Äquator hin begrenzt. Während das Nordpolarmeer bald allgemein als Nebenmeer des Atlantischen Ozeans bezeichnet wurde, kam man nur in der deutschen Literatur aus Gründen, die von A. Penck [1894] und O. Krümmel [1907] dargelegt worden sind, dazu, den antarktischen Ozean als Teilgebiete den drei Ozeanen anzugliedern (u. a. Wüst [1936]). Auch weist G. Wüst [1939] darauf hin, daß der Auffassung des Internationalen Hydrographischen Bureau [1937] eines selbständigen vierten Ozeans nicht beigepflichtet werden kann. 1950 hat das Internationale Hydrographische Bureau sich dieser Auffassung angeschlossen.“

G. Koopmann [1953] Entstehung und Verbreitung von Divergenzen in der oberflächennahen Wasserbewegung der antarktischen Gewässer, DHZ ErgH. 2 S. 6.

Zur Erforschung des Meereises

Die analytische Erforschung des Meereises kann mit der Arbeit von J. Stefan [1891] angesetzt werden: „Über die Theorie der Eisbildung, insbesondere über die Eisbildung im Polarmeere“. Wegweisend waren die Arbeiten von F. Nansen [1893–96] mit der Drift der „Fram“. An der Forschung zum Meereis waren zahlreiche deutsche Geographen beteiligt, eine Entwicklung, die seit E. v. Drygalski verstärkt einsetzte. E. v. Drygalski [1898]: Die Aufgaben der Forschung am Nordpol und Südpol. Ders. [1904]: Zum Kontinent des eisigen Südens. Deutsche Südpolarexpedition 1901–1903. Vgl. Kap. Meeresforschung. F. Malmgren [1927] brachte nach seiner Teilnahme an der norwegischen Expedition mit der „Maud“, 1918–1925, eine bedeutende Arbeit heraus: „On the Properties of Sea-Ice“, in der er Thermodynamik (Wärmeleitung und Eisbildung), Mechanik (Dichte) und Chemie (Salzgehalt) des Meereises behandelte. Über geophysikalische Messungen zum Meereis und Eisbeobachtungen gibt es ein Kapitel von Seite 281–343, bei E. Bruns [1962]: „Ozeanologie“, Bd. 2. Eine übersichtliche Zusammenfassung zur Geophysik des Eises ist von E. R. Pounder 1965 erschienen: „The Physics of Ice“. Und: A. Defant [1961]: Physical Oceanography, Bd. II. Der enorme Ausbau moderner Forschung zu Meereis und zu glaziologischen Problemen wird z. B. durch die zahlreichen Bände der International Association of Scientific Hydrology dokumentiert.

Zu den klassischen Forschungsarbeiten zu Meereis mit Expeditionen über das Eis zu Fuß und mit Schiffen in die eisbedeckten Gebiete der Meere und Ballonaufstiegen und Luftschiffen kamen die modernen Methoden mit Unterseebootfahrten unter dem Eis und mit Flugzeug und vor allem Satelliten, die mit den verschiedenen Meßgeräten der Fernerkundung (Remote Sensing) ausgerüstet sind. Vor allem hat zur Verbreitung des Meereises in der Arktis und Antarktis und auch in Nebenmeeren der Einsatz von Satelliten mit den verschiedenen optischen und elektrischen Aufnahmesystemen grundlegende neue Erkenntnisse über das Meereis erbracht. Während vor Beginn des „Geophysikalischen Jahrzehnts“ im Jahre 1957 immer noch relativ wenig über die Verbreitung der großen Meereisareale und ihre Dynamik bekannt war, ist erst mit der Nutzbarkeit von synoptischen Aufnahmen, die mit Aufnahmesystemen der Satelliten seit den 60er Jahren gewonnen werden konnten, eine entscheidende neue Phase in der Meereisforschung erreicht worden. Bis dahin war über das Meereis im Vergleich zu dem Festeis auf den Kontinenten relativ wenig bekannt.

S. Schneider [1975]: Luftbild und Luftbildauswertung, LAG, Walter de Gruyter & Co. H. G. Gierloff-Emden u. H. Schroeder-Lanz [1970/71]: Luftbildauswertung, Bd. 1–3. J. Bodechtel u. H. G. Gierloff-Emden [1975]: Weltraumbilder, die dritte Entdeckung der Erde. H. G. Gierloff-Emden [1961]: Luftbild und Küste im deutschen Nordseeraum. W. J. Campbell, W. F. Weeks, R. O. Ramseier u. P. Gloersen [1975]: Geophysical Studies of Floating Ice by Remote Sensing. P. Gloersen u. V. V. Salomonson [1975]: Satellites — New Global Observing Techniques for Ice and Snow.

Die Anwendbarkeit von Satellitenaufnahmen erwies sich in der Ozeanographie für das Meereis als optimal, da es sich um ein flächenhaftes Objekt großer Ausdehnung handelt. Der Einsatz erfolgte vom Stadium der Forschung zum operationellen Stadium rasch: schon wenige Jahre nach ersten Versuchen gab es Meereiskarten nach Satellitenaufnahmen, von den Eisdiensten herausgegeben. Entsprechend den Anforderungen der Schifffahrt waren bis zu den 60er Jahren des 20. Jh. die Erkundung der kurzfristigen (täglichen) Eisränder und der längerfristigen jahreszeitlich wechselnden Ränder vereister Meeresareale (der Eisgrenzen) und die Art des Meereises in Arealen dichter Schifffahrt (Nebenmeere wie Ostsee und St. Lorenz-Bucht) sowie Gefährdung von Schifffahrtswegen durch treibende Eisberge im Vordergrund des Interesses.

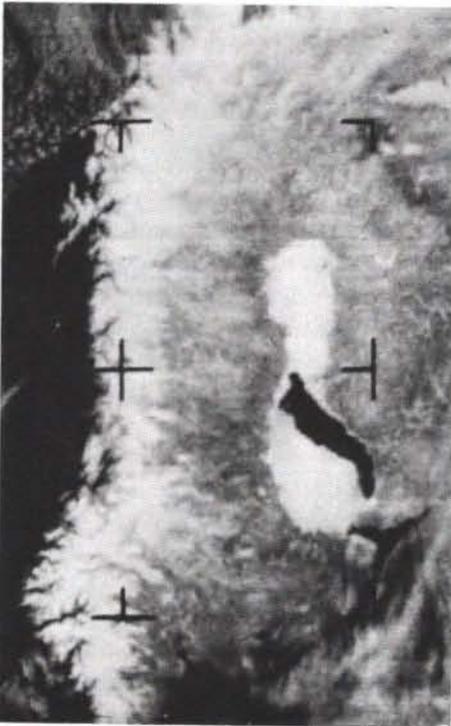


Abb. 8.1

Erforschung des Eises, hier der Eisausbreitung, mit Hilfe von Satellitenbildern

Satellitenbild von ESSA-2 (Environmental Survey Satellite) mit Fernsehzeilenbilddaufnahme. Aufnahmehöhe: 1450 km, Datum: 12. 4. 1966, Zeit: 09.17 Uhr. Empfang und Übertragung als Photo: H. Kaminski, Sternwarte der Stadt Bochum. Originalmaßstab etwa 1 : 20 Mill., vorliegende Abb. annähernd in diesem Maßstab.

Region: Skandinavien mit Norwegischer See und Ostsee.

Interpretationsobjekt: Ostsee, Bottnischer Meerbusen, Eislage.

Vereiste Fläche: weiß, offenes Wasser: schwarz. Der Umriss der freien Wasserfläche ist sehr ähnlich von solchen anderer Jahre, z. B. Aufnahme Nimbus IV Satellit vom 13. August 1970

Die Aufnahmen von Landsat haben eine wesentlich bessere Auflösung, ihre Repetitionsrate ist jedoch größer

Die Suche nach Erdöl und anderen Bodenschätzen in den Schelfgebieten des Nordpolarmeeres führte zur Intensivierung der Meereisforschung gerade zu der Zeit, als die Innovation der Satellitenbilddaufnahmen eintrat.

K. Strübing [1970]: Satellitenbild und Meereiserkundung. M. Ostheider [1975]: Möglichkeiten der Erkennung und Erfassung von Meereis mit Hilfe von Satellitenbildern (NOAA-2 VHRR). Seit 1978 werden mit dem SAR (Synthetic Apertur Radar) vom Satelliten Seasat vom Tageslicht unabhängige Aufnahmen des Meereises genommen. Seasat hat eine Repetitionsrate von 14 Tagen.

Wissenschaftliches Arktis-Forschungsinstitut der UdSSR [1955]: Über neue sowjetische Forschungen und Entdeckungen in der Zentralarktis. A. F. Treshnikow (Ed.) [1973]: Problems of the Arctic and Antarctic.

Das Meereis als komplexe Erscheinung

Eine wissenschaftliche Behandlung des Meereises kann nach den verschiedenen Kategorien der Phänomene und Prozesse mit ihren meßbaren Parametern, welche das Meereis als Merkmale aufweist, erfolgen:

Eigenschaften des Substrates Meereis

physikalische und chemische mit meßbaren Parametern wie Temperatur, Salzgehalt, Dichte, Festigkeit, Farbe,

morphologische mit meßbaren Parametern wie vertikale Ausdehnung, Dicke (Mächtigkeit), Oberflächenform, z. B. einer Eisscholle oder eines Eisberges,

genetische, erkennbar an Schichtung mit meßbaren Parametern Salzgehalt, Temperatur, Kristallstruktur, Farbe, und erkennbar an Form und Größe von Eisschollen, mit meßbaren Parametern Dicke und Salzgehalt,

nautische wie räumliche Verteilung der Eisarten (nach Parametern der Passierbarkeit des Eises durch Schiffe bestimmter Größe und Bauart),

dynamische, Bewegung des Eises, nach meßbaren Parametern Richtung und Geschwindigkeit, unter Berücksichtigung der Maßstabskategorien z. B. Rotation einer Scholle: kleiner und mittlerer Maßstab, Drift von Packeisfeldern: großer Maßstab,

geographische, besondere Form und Bewegung des Eises, regional zu unterscheiden nach Ozeanen und Meeren.

Entsprechend der komplexen Erscheinung des Meereises gibt es zahlreiche Klassifikationsschemata und Terminologien. Die Klassifikationen und Terminologien der Eisdienste verschiedener Nationen sind, zweckentsprechend wie sie auf den verschiedenen regionalen Eiskarten erscheinen, unterschiedlich. Als umfangreichste Terminologie und Klassifikation sei hier genannt:

W.M.O. Classification (World Meteorological Organization), W.M.O. Sea-Ice Nomenclature, Terminology, Codes and illustrated Glossary, Ed. 1970, Geneve, W.M.O. No 259. PP. 145. Für den Eisdienst in der Ostsee sei auf die Klassifikation zur Karte „Eisbericht“ des DHI hingewiesen.

Oceanographic Atlas of the Polar Seas, Teil I u. II [1958], US Hydrographic Office, Washington.

Größenskalen von Phänomenen des Meereises in zeitlicher und räumlicher Dimension

①	MIKROSKALA		Über- gangs- bereich	MESOSKALA			Über- gangs- bereich	MAKROSKALA	
	Größenordnung	10 ⁻⁴ m 10 m		100 m	5 km	50 km		100 km	1000 km
wichtigstes Merkmal	Individuelle innere Eisstruktur		Zusammenspiel von Schollen, Rinnen, Preßeisrücken,			Verhalten des Treibeises als Ganzes			
EIS-PARAMETER	chemische Zusammensetzung, Salzkristallbildung Zerfallmechanismus Eisrisse		Oberflächen- Topographie, ausgedehnte Schmelzwässer, Ausdehnung der Schneedecke, kleinere Öffnungen im Eis, Treibeis, Korz., Festeis, Eisinseln, Flächenverteilung von Eisdicke / - alter, Anordnung, Eisrand,			große Öffnungen im Eis Eisrand, Anordnung, großräumige Zirkulation			
BEOBACHTUNGS-ORT	Boden		Flugzeug			Satellit			
ERFORDERLICHE BODEN-AUFLÖSUNG	2 m		20 m 10 km			20 km 200 km			

②	MIKROSKALA		Über- gangs- bereich	MESOSKALA		Über- gangs- bereich	MAKROSKALA	
	Zeitablauf	kurzfristig		mittelfristig	langfristig			
Zeitintervall (erforderliche Zeit-Auflösung)	Sek., Min.	Std.	Tag	Woche	Monat	Jahr		
zeitvariable EISPARAMETER	Bildung von Rissen, Überlappenderschoben des Eises, Schneedecke.		Änderung der Konzentration, Anordnung, größere Öffnungen im Eis, Topographie, Schmelzwasser		Entstehung und Abbau von Eis Festeis- Landeung, mittlere Eisrandlage, Grenze für extreme Ausdehnung,			

① Größenskalige Skalenklassifikation der Meereisparameter ② Zeit- Skalenklassifikation der Meereisparameter

Abb. 8.2

Klassifikation von Meereis nach der Größenskala und seiner Dynamik nach der Zeitskala in bezug auf Fernerkundungssysteme (Remote Sensing)

Gez. nach: M. Ostheider [1975] Möglichkeiten der Erkennung und Erfassung von Meereis mit Hilfe von Satellitenbildern (NOAA-2 VHR), in: Münchener Geographische Abhandlungen, Bd. 18, Dissertation, ausgeführt beim Lehrstuhl Gierloff-Emden, Abteilung Fernerkundung. Skalen unter Benutzung der Quellen von W. F. Weeks, W. D. Hibler, S. F. Ackley [1973] Sea Ice, Scales, Problems and Requirements.

In der Natur kommen Phänomene des Meereises in verschiedenen Ausmaßen metrischer Dimension und Prozesse der Eisdynamik in verschiedenen Intervallen zeitlicher Dimension vor. Die Klassifikation solcher Größenskalen kann erfolgen entsprechend festgelegter Maschennetze von Gitterpunktabständen nach:

Entfernungen von Beobachtungsstationen in einer Region,
natürlichen Phänomenen, entsprechend gewählte Stufen,
abstrakt gewählten Stufen nach Meßsystemen,
Erkennbarkeitsgrenzen von Objekten mit Fernerkundungssystemen, Bodenauflösung von Luft- und Satellitenbildern.

Das Meereis als Substrat

Als Eis wird der feste Aggregatzustand des Wassers bezeichnet, d. h. seine Erstarrungsphase, die durch Gefrieren aus der flüssigen Phase entsteht. Als Meereis wird Eis bezeichnet, das aus dem Meerwasser durch Gefriervorgänge entstanden ist. Die Eisarten ergeben sich aus den chemischen Beimengungen des Wassers: Man unterscheidet reines Eis, Frischwasser-Eis, Brackwasser-Eis und Meereis nach dem Salzgehalt. Ab 24,7 ‰ Salzgehalt wird salziges Wasser als Meerwasser bezeichnet und das daraus gebildete Eis als Meereis. Dieser Wert stellt den Kreuzungspunkt der Funktion von Temperatur des Dichtemaximums und Temperatur des Gefrierpunktes dar. Jedoch wird auch das Eis nicht sehr salzhaltiger Meere wie das der Ostsee als Meereis bezeichnet, also nach der Entstehung in einem Meeresraum.

Das Meereis ist ein aus drei Komponenten bestehendes komplexes Gebilde aus 1. der festen Komponente, harten Kristallen des Salz- und Süßwassereises, 2. der flüssigen Komponente, Salzlake und 3. gasförmiger Komponente, sehr kleinen Luftbläschen. Die harte Komponente wird durch poröse Skelette aus Eiskristallen gebildet, deren Zwischenräume voneinander mit Salzlake und Luftbläschen gefüllt sind. Zu den physikalischen und chemischen Eigenschaften des Meereises zählen u. a.: Dichte, Temperatur, thermale Ausdehnung, Salzgehalt, insgesamt eine Vielzahl von Merkmalen, die in komplexer Weise miteinander verknüpft sind und funktional voneinander abhängig sind. Die mechanischen Eigenschaften des Meereises sind durch die physikalisch-chemischen bestimmt und bedingen sein Verhalten bei Verformungen wie Stauchung, Biegung, Scherung, Dehnung. Das sind Eigenschaften, die von Bedeutung für Schiffbau und Eisbrecher sind, z. B. herrscht bei niedrigen Temperaturen größere Festigkeit des Eises als bei höheren; bei Verminderung des Salzgehaltes wächst sie.

Schwimmendes Eis auf dem Meere ist in der klassischen Literatur erwähnt von Pytheas von Massilia (330 v. Chr.). Pytheas schrieb, auf seiner Reise nach Thule (Seegebiet um Island) sei er in eine dickflüssige und zähgeronnene See geraten; wahrscheinlich handelte es sich um Treibeis.

Das Meereis als Substrat ist Forschungsgegenstand der Geophysik und Kristallographie geworden. Von praktischer Bedeutung sind u. a. das Eis in seinem Verhalten als Radar- und Sonarreflektor (Eisbergortung) und hinsichtlich seiner Durchlässigkeit von Längswellen (Funkempfang auf U-Booten unter dem Eis). Das Meereis als Substrat wurde im „Handbuch für Ozeanographie“ von O. Krümmel, Bd. 1, für den derzeit vorhandenen Stand der Erkenntnisse verhältnismäßig detailliert behandelt; für den neueren Stand der Wissenschaft kann das Buch „The Physics of Ice“ von E. R. Ponder [1965], mit 150 Seiten als Zusammenfassung gelten.

Eisbildung und Gefriervorgänge

Eisbildung tritt ein, wenn das Wasser bis zum Gefrierpunkt abgekühlt wird. Der Gefrierpunkt von reinem Wasser liegt bei 0°C , von Wasser mit Salzgehalt tiefer. (Auf den Zusammenhang mit dem atmosphärischen Druck wird hier nicht eingegangen.) Die Gefrierpunkttemperatur fällt linear von 0°C bei einem Salzgehalt von 0‰ auf $-1,332^{\circ}\text{C}$ bei einem Salzgehalt von $24,7\text{‰}$ und auf $-1,85^{\circ}\text{C}$ bei einem Salzgehalt von $32,5\text{‰}$ und weiter ab. Der Zusammenhang zwischen Eis, Salzen und Temperatur wird von Assur [1958] in einem Phasendiagramm dargestellt, das die sogenannten eutektischen Temperaturen $-8,2^{\circ}\text{C}$, $-22,9^{\circ}\text{C}$, $-43,2^{\circ}\text{C}$ und -54°C als Ausfällungstemperaturen von speziellen Salzen des fein kristallinen Gemenges bzw. der Lösung aufweist. Bei $-8,2^{\circ}\text{C}$ kristallisiert Natriumsulfat (Na_2SO_4), bei -23°C kristallisiert Natriumchlorid (NaCl), (bei -36°C KCl , bei -54°C CaCl).

Von großer Bedeutung für die Eisbildung auf dem Meere ist der Zusammenhang zwischen Gefrierpunkt und Dichtemaximum bei jeweils verschiedenem Salzgehalt.

Das Wärmeverhalten des Seewassers ist insofern anormal, weil sein spezifisches Volumen (unter spezifischem Volumen versteht man den Kehrwert der Dichte (cm^3/g), bei Abkühlung (bei chemisch reinem Wasser) bis $+4^{\circ}\text{C}$ abnimmt; hier ist also sein Dichtemaximum erreicht. Bei weiterer Abkühlung nimmt sein spezifisches Volumen wieder zu, bis es beim Gefrieren bei 0°C sprunghaft um ca. 97‰ zunimmt, d. h. das Eis schwimmt. Diese Verhältnisse bleiben grundsätzlich auch im Meerwasser erhalten, lediglich die Werte für das Dichtemaximum und den Gefrierpunkt werden verschoben. G. Haux: Tauchtechnik.

Auftragungen der Dichte von Eis über die Temperatur, abhängig vom Salzgehalt, zeigen, daß auch Meereis zwischen -10°C und -25°C und unterhalb -30°C , je nach Salzgehalt, sich so verhält, wie reines Eis, nämlich sich zusammenzieht und bei Behinderung der Dehnung rissig wird. Nur im Bereich 0°C bis etwa -10°C und zwischen -25°C und -30°C dehnt sich Meereis bei Temperaturabfall aus.

Als wichtigste Eigenschaft des Meereises ist also hervorzuheben: Meereis schwimmt auf dem Wasser; die Ozeane vereisen nicht vom Boden her, d. h. bei Vereisung entsteht auf den entsprechenden Meeresgebieten eine Isolierschicht, die die Wassermassen vor weiterer Auskühlung gegen die Atmosphäre schützt. Das Eis auf dem Meere stellt eine Trennschicht dar mit scharfen Temperaturgradienten zur oberen und unteren Grenzfläche. Die thermischen Eigenschaften und Prozesse sind sehr unterschiedlich von denen der Grenzfläche Land gegen Luft. Im Meere gibt es keine Phänomene des Dauerfrostbodens.

Bei reinem Wasser liegen das Dichtemaximum bei $+4^{\circ}\text{C}$ und der Gefrierpunkt bei 0°C , bei Wasser mit Salzgehalt von $24,7\text{‰}$ liegen Dichtemaximum und Gefrierpunkt bei $-1,33^{\circ}\text{C}$. Bei Wasser mit größerem Salzgehalt liegt das Dichtemaximum bei tieferen Temperaturen als der Gefrierpunkt. Bei Meerwasser von 35‰ Salzgehalt liegt der Gefrierpunkt bei $-1,9^{\circ}\text{C}$ und das Dichtemaximum bei $-3,5^{\circ}\text{C}$.

Bei Abschätzung von Berechnungen zum Wärmehaushalt sind Überlegungen physikalischer Zusammenhänge notwendig. Wasser kommt in drei Phasen vor: gasförmig (Wasserdampf), flüssig (Wasser), fest (Eis). Mit dem Übergang von einer Phase in die andere ereignen sich besondere energetische Prozesse (latente Wärme ist notwendig).

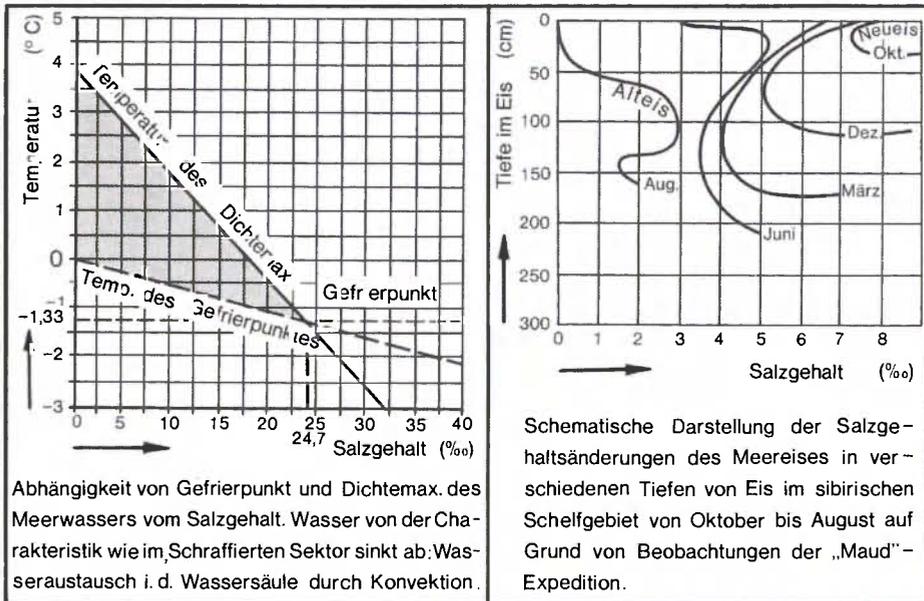
Um 1 g Eis in Wasserdampf zu überführen, sind bei 1 Atm Luftdruck 720 cal/g nötig

Um 1 g Eis in Wasser (flüssig) zu überführen, sind 80 cal/g nötig

Um 1 g Wasser in Wasserdampf zu überführen, sind 540 cal/g nötig

Zu den thermodynamischen Eigenschaften des Eises sind die Begriffe der spezifischen Wärme und der latenten Wärme zu behandeln. Beide sind Funktionen von Salzgehalt und Temperatur. Die physikalischen Erscheinungen von Schmelz- und Gefrierprozessen werden in geophysikalischen Werken behandelt. Dampfspannung und Verzögerung im Gefrierpunkt von Salzlösung wurden um 1875 untersucht.

A. Defant [1928, 1961]: Physical Oceanography. Tabellen siehe Handbook of Marine Science [1974].



Abhängigkeit von Gefrierpunkt und Dichtemax. des Meerwassers vom Salzgehalt. Wasser von der Charakteristik wie im schraffierten Sektor sinkt ab: Wasseraustausch i. d. Wassersäule durch Konvektion.

Schematische Darstellung der Salzgehaltsänderungen des Meereises in verschiedenen Tiefen von Eis im sibirischen Schelfgebiet von Oktober bis August auf Grund von Beobachtungen der „Maud“-Expedition.

Abb. 8.3 Gefriervorgänge und Salzgehalt des Meerwassers links

Beziehung zwischen Temperatur des Gefrierpunktes und des Dichtemaximums und Salzgehalt. Bei einem Salzgehalt von 24,7 ‰ kreuzen sich die Funktionskurven. Wasser von der Charakteristik des rechten unteren Dreiecks zwischen den Funktionen gefriert an der Oberfläche, bevor es absinken kann; als Eis schwimmt es: Die Wassersäule kühlt bis zum Boden nicht weiter aus. Wasser mit größerem Salzgehalt als 24,7 ‰ gilt als Meerwasser.

Nach: American Practical Navigator, US Naval H. O. Washington, Publ. Nr. 9, Grundlage H. U. Sverdrup et al. [1942] The Ocean

rechts

Beispiel der Änderung des Salzgehaltes in verschiedenen Tiefenlagen des Meereises

Nach: „Maud“ Expeditionsberichten, 1922—24, Eis der ostsibirischen Drift. F. Malmgren [1927]: On the Properties of Sea Ice, the Norwegian North Polar Expedition with the „Maud“, 1918—1925, Scientific Results, Bd. I, Nr. 5

Abkühlung und Konvektion des Meerwassers bis zur Eisbildung.

Als einfachstes Modell sind die Vorgänge der Eisbildung folgendermaßen zu beschreiben: Im Sommer schmilzt die Eisdecke oben ab. Im Winter friert die Eisdecke von unten an. Diese Vorgänge spielen sich in einer Schicht ab, die etwa 0,5 m Eis pro Jahr betrifft.

Die genannten Beziehungen zwischen Dichtemaximum, Gefrierpunkt und Salzgehalt sind für die Eisbildung und die Erscheinung der Eisbildung auf den Meeren von größter klimatischer Bedeutung in Bezug auf Hydrosphäre und Atmosphäre.

Die Abkühlung des Meerwassers erfolgt an der Grenzfläche durch eine kalte Atmosphäre (spezielle Phänomene wie Grundeisbildung und unterkühlte Wassermassen sind hier nicht diskutiert). Bei Abkühlung einer Wassermasse durch die Atmosphäre kann der Gefriervorgang beginnen, wenn die Wassermasse auf den Gefrierpunkt abgekühlt ist. Solange die Temperatur des Dichtemaximums des Wassers über der Temperatur des Gefrierpunktes liegt, wird es durch Abkühlung zu seiner gegenüber der Umgebung größer gewordenen Dichte absinken und nicht gefrieren: Es entsteht die Konvektion.

Das bedeutet, daß eine Wassersäule zunächst durch Konvektion auf den jeweiligen Gefrierpunkt abkühlt bevor Eisbildung an der Oberfläche des Meeres durch weitere Abkühlung eintritt.

Konvektion und Gefrieren des Meerwassers infolge Abkühlung an der Oberfläche erfolgt: (bei einer Lufttemperatur von -10°C)

bei Salzgehalt von	Konvektion bis zu Dichtemax.	Eisbildung an Oberfläche
0 ‰	+ 4°C	bei 0°C
20 ‰	- $0,3^{\circ}\text{C}$	- $1,07^{\circ}\text{C}$
25 ‰	Eisbildung	- $1,9^{\circ}\text{C}$

Das bedeutet, daß die Konvektion im Meerwasser von einem Salzgehalt von 24,7 ‰ an bei $-1,33^{\circ}\text{C}$ aufhört, d. h. daß damit Meerwasser an der Oberfläche zu Eis erstarrt, wenn weitere Abkühlung erfolgt und das Wasser nicht mehr absinkt, während darunter liegende Wassermengen bei der Temperatur des Dichtemaximums stagnieren.

Meerwasser von größerem Salzgehalt als 24,7 ‰, z. B. 35 ‰ hat seinen Gefrierpunkt erst bei $-1,9^{\circ}\text{C}$, aber seine größte Dichte erst bei $-3,5^{\circ}\text{C}$ erreicht. Das bedeutet, daß bei Wasser von solchem Salzgehalt die Konvektion bis $-1,9^{\circ}\text{C}$ anhält.

Die Meere sind jedoch z. gr. T. nicht von homogenen Wasserkörpern erfüllt, sondern mehrfach geschichtet. In vielen Meeresräumen befinden sich die Schichten außerdem in Bewegung. So gibt es Sprungschichten, an denen die thermische Konvektion von der Oberfläche her aufhört; d. h. es wird nicht die gesamte Wassersäule bis zum Meeresboden durch Konvektion auf den Gefrierpunkt abgekühlt.

Außer den genannten Bedingungen sind noch eine Reihe von Faktoren für die Eisbildung auf dem Meere maßgebend: die Wassertiefe der Gewässer

(flache Gewässer kühlen schnell aus, z. B. Hudson Bay, St. Lorenz Golf (südlicher Teil), Ostsee, Wassermassenaustausch der Strömungen, Modifikation der Grenzflächen durch Schneefall (beschleunigend wegen Schmelzerwärmung und Süßwasserzufuhr), Wellen retardierend, und die Zeitspanne, in der die Abkühlung erfolgt. So verläuft die Eisbildung auf dem Meere, durch solche Bedingungen modifiziert, regional sehr viel differenzierter als nach dem einfachen Modell (siehe oben).

Meerwasser mit 35 ‰ Salzgehalt würde erst nach Abkühlung der gesamten unterlagernden Wassersäule auf $-1,9^{\circ}\text{C}$ gefrieren. Das salzarme (30–32 ‰) arktische Oberflächenwasser des Nordpolarmeeres mit einem Gefrierpunkt von $-1,6^{\circ}\text{C}$ bis $-1,8^{\circ}\text{C}$ schafft aber günstige Voraussetzungen für die Eisbildung. Besonders im sibirischen Schelfbereich, wo der Salzgehalt mit 22 ‰ sehr niedrig ist, kommt es bei Abkühlung rasch zur Entwicklung einer mehrere 100 km breiten Festeisdecke, die mit dem Land verbunden ist.

„Diese Wasserschichten (Sprungschichten) werden auch als Eisträgerschichten bezeichnet, weil sie für die Eisbildung von entscheidender Bedeutung sind. Eine typische Eisträgerschicht finden wir bei bestimmten Wetterlagen in der Beltsee, den Gewässern zwischen Dänemark und Schweden.



Abb. 8.4

Eisrand, augenblickliche Grenze des Neueises, „Ice Edge“, Tschuktschen-See

I. Neubildung des Randes der polaren Eisdecke, vorrückend. Eisrand besteht aus kleinen Fragmenten ($< 2\text{ m}$), „Brush“, durch Wind und Strömung zusammengedrückt.

- a) Eisbildung durch Gefrieren des Meerwassers (Veränderung in vertikaler Dimension).
- b) Eisrand durch Gefrieren des Meerwassers und Zusammendriften (horizontal). Bogenförmiger Verlauf des Eisrandes, „Bights“.

II. Atmosphärische Erscheinung an diesem dreifachen Grenzsaum Wasser-Eis-Atmosphäre, „Triple Interface“: Seerauch, „Frost Smoke“, verursacht durch warmes Wasser (3°C) und kalte Luft (-8°C); diese Nebelflocken (werden auch „Cumulus fractus“ genannt) mit Schattenbildung auf dem Eis.

Wellen: Seegang 3 bis 4.

Aufnahme: H. G. Gierloff-Emden [11. Okt. 1975] Tschuktschen-See, von NASA Convair Galileo II, Pilot F. Drinkwater, Flughöhe ca. 250 m, Leiter der Mission: E. Petersen

Eine besonders dünne Eisträgerschicht tritt in der Nordsee auf, wenn sich das leichte Flußwasser bei Ostwind in der Deutschen Bucht ausbreiten kann und nicht durch Wellengang vermischt wird. Diese Wasserschicht ist sehr dünn und kühlt schnell ab, so daß eine relativ dünne Eisschicht entsteht, die aber für die Schifffahrt harmlos ist, da sie sich nicht verstärken kann und durch aufkommenden Seegang schnell zerstört wird.“ Scharnow [1958]: Ozeanographie für Nautiker.

Der Vorgang der Eisbildung und des Eisschmelzens auf dem Meere spielt sich an der oberen Grenzfläche des Meeres ab unter Einbeziehung der Wechselwirkungen in der Grenzschicht der Atmosphäre mit dem Strömungsfeld der wasser- und eisnahen Luftschicht und der Hydrosphäre mit Abkühlung, Erwärmung und Austausch von Wasser. G. Weller [1968].

Eisbildung auf dem Meere und Struktur der Meereisdecke

Beim Gefriervorgang auf dem Wasser entstehen zunächst kleine Eisplättchen, die durch Eisbrücken zusammengehalten werden. Die Eisplättchen haben bis zu 2 cm Durchmesser, sind salzfrei, haben Kristallstruktur; die optische Achse steht senkrecht auf den Plättchen. Äußeres Anzeichen ist makroskopisch eine ölig metallische Oberfläche des Meerwassers. Dieser Zustand der Vereisung wird als Frazil Ice bezeichnet. Im nächsten Stadium wird diese Masse zu einer dickeren Suppe, Grease Ice genannt. Bei weiterer Verfestigung durch Gefrieren entstehen kleine, runde Schollen, wegen gegenseitiger Kollision mit aufgebogenem Rand, die als Pancake Ice (Pfannkucheneis) bezeichnet werden. Die Kristalle sind zusammengefroren. Es ist Neueis entstanden, je nach Abkühlung von einigen cm Dicke, z. B. bei -20°C um 2 cm in einigen Stunden. Die Eisschicht wächst durch Anwachsen nach unten. Junges Meereis hat durch Einschluß von Meerwasser zunächst einen Salzgehalt von 5‰ , doch wurden auch schon Maximalwerte von 8 bis 10‰ gemessen. Bei rascher Abkühlung ist ein größerer Prozentsatz von Salzen aus dem Meerwasser enthalten. Das Salz ist als Substrat als Lauge (Brine) in Hohlräume zwischen den Kristallen eingeschlossen. Infolge weiterer Gefriervorgänge und unterschiedlichen Gewichtes kommt es zur Differenzierung. Die Salzlösungen sinken nach unten ab; das Neueis wird salzärmer. Eis bei anfänglich etwa 10‰ Salzgehalt hat später im Laufe des Winters nur noch 5‰ , am Ende eines Jahres aber nur noch ca. 4‰ Salzgehalt.

Eiskristallsuspensionen wachsen in Wirbeln oder schnell strömenden Wasserkörpern besonders schnell heran und bilden Eisbrei, da die bei der Eiskristallisation frei werdende Wärme abgeführt werden muß, um die Kristalle nicht wieder zu schmelzen. Andererseits entstehen bei sehr schnellem Gefrieren Eis- und Salz-Kristalle auf der Oberfläche:

„Indem die feinen Eisnadeln, die an ihrer Spitze die Salzkristalle tragen, immer dichter aneinander rücken, bilden sie nach 24 Stunden eine mattweiße Schicht, die der Uneingeweihte für frischen Schnee halten könnte. Die sibirischen Elfenbeinsammler, die im Frühjahr vom Festland nach den Neusibirischen Inseln hinüberfahren verwenden das ausgeblühte Salz zu Speisezwecken und nennen es „Rassol“ (Lake oder Sole): daher dann die ganze Erscheinung ihren Namen empfangen hat.“ O. Krümmel, Hdb. Ozeanographie, Bd. I [1907], S. 502–503.



Abb. 8.5

Eisfeld am Packeis des Nordpolarmeeres mit Schollen, Tschuktschen-See

Weißes Eis mit dünner Schneedecke, Eisbedeckung $\frac{9}{10}$. Schollen aus mehrjährigem Eis mit Brüchen, „Cracks“, Vordergrund, und eingefrorenen älteren Schollen, kenntlich durch Preßbrücken, „Ridges“, Relief sichtbar durch Schattenbildung.

Bildausschnitt ca. 300 m in der Breite. Schrägluftbild.

Aufnahme: H. G. Gierloff-Emden [11. Okt. 1975] Tschuktschen-See, von NASA Convair „Galileo II“, Pilot F. Drinkwater, Flughöhe ca. 300 m, Leiter der Mission: E. Petersen



Abb. 8.6

Eisfeld mit dichten Schollen am Packeis in der nördlichen Tschuktschen-See

Eisbedeckung $\frac{9}{10}$. Eisschollen (bis 50 m Durchmesser), Pfannkuchen-Eisschollen, rundlich, dicke Ränder, bis 20 m. Die Eisschollen stammen aus mehrjährigem Eis. Ihre Oberfläche ist reliefiert und durch Rücken geformt. Sie sind bis zu 2 m dick. Pfannkuchen-Eisschollen erstjährig (weiß-grau). Bildausschnitt ca. 300 m in der Breite.

Aufnahme: H. G. Gierloff-Emden [11. Okt. 1975] wie Abb. 8.5.

Das Neueis kann im Bereich des Nordpolarmeeres innerhalb eines Jahres bis zu 2 m Dicke anwachsen. Es wird First Year Ice genannt. Infolge Schmelz- und wieder Gefriervorgänge erfolgt weitere Differenzierung von Eiskelett und Salzlaugen, so daß der Salzgehalt auf der Oberfläche des Meereises auf unter 1‰ absinken kann. Damit wird älteres Meereis für die Gewinnung von Trinkwasser nutzbar. Diese Tatsache war den Walfängern und Robben-

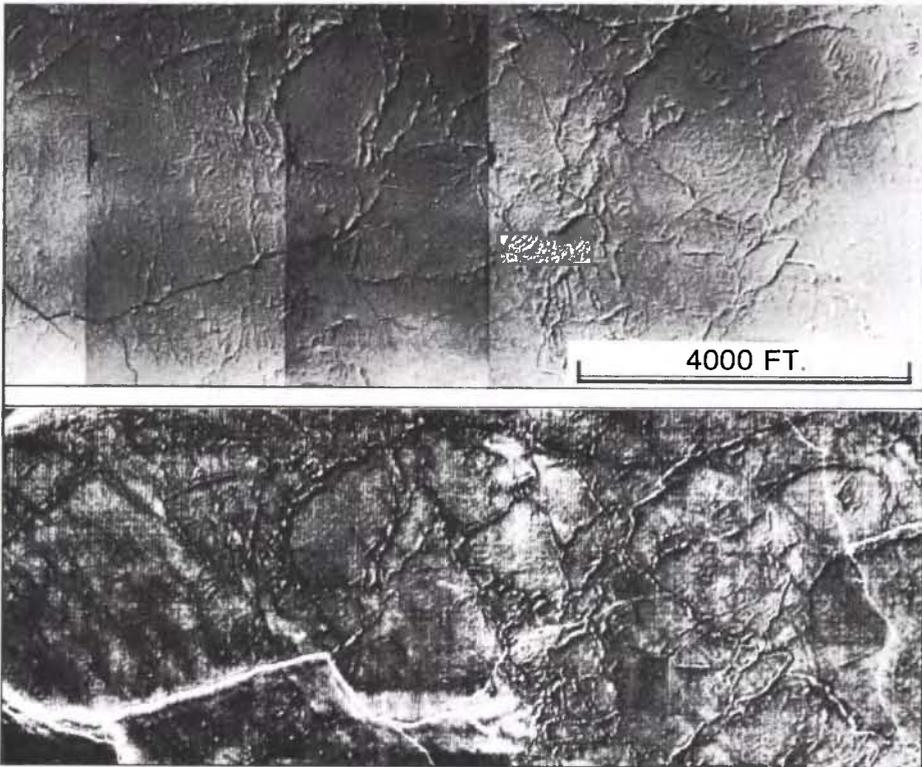


Abb. 8.7

Oberfläche des mehrjährigen festen Packeises im Nordpolarmeer mit Eispreßrücken u. Brüchen
 Aufnahmen mit Methoden der Fernerkundung (aus 1200 m Höhe)
 Panchromatische Luftbildaufnahme (oben) und Infrarot Scanning Darstellung (Sensor-
 Aufnahme) (unten).

Aufnahmen bei Tageslicht. Das bedeutet eine Beeinflussung der Eisoberfläche durch Sonneneinstrahlung bezüglich der Wärmeausstrahlung, die die Infrarotabbildung wiedergibt. Die Sonneneinstrahlung gibt im sichtbaren Spektrum einen Schatteneffekt (oberes Bild, Licht von links) der Eispreßrücken und bewirkt eine Erwärmung der angestrahlten Rücken auf dieser Seite, die sich bei der Infrarotabbildung als weißer Streifen anzeigt.

Aufnahme der Eisoberfläche mit Radar vgl. S. Schneider: Das Luftbild als Hilfsmittel bei der Untersuchung hydrologischer und meereskundlicher Probleme, in: S. Schneider [1974]: Luftbild und Luftbildauswertung, S. 285, LAG-Reihe, Walter de Gruyter & Co.

Nach: P. Badgley, L. Miloy u. L. Childs [1969] Ocean from Space, S. 164, Gulf Publishing Company. Mit freundlicher Genehmigung von L. Childs. J. H. McLellan [1969] Remote Sensing and Interpretation of Sea Ice Features

schlägern der vergangenen Jh. bekannt (vgl. auch Berichte von Cook und Nansen), ist auch heute noch für die Versorgung der driftenden arktischen Stationen auf dem Meer von Bedeutung. Trinkwasser kann von Schmelztümpeln auf Eisschollen stellenweise direkt abgepumpt werden.

Wenn das First Year Ice im Bereich des Nordpolarmeeres den folgenden Sommer überdauert, nimmt es durch Anfrieren von unten an Dicke wieder zu und wird zum Second Year Ice. Eisschollen nach dem zweiten Jahr an Alter werden als Multi Year Ice bezeichnet und erreichen im Nordpolarmeer Dicken von 3 m. Infolge von Übereinanderschieben entstehen Doppelschichtungen (Rafting) und Preßrücken (Ridges). (Ausführliche Beschreibungen gab F. Nansen [1897] mit zahlr. Abb.). An diesen kann das Eis 5–8 m über dem Meeresspiegel und 10–30 m unter dem Meeresspiegel an Dicke erreichen, „Keel“ genannt, vgl. Abb. 8.8, wie es die Sonar-Messungen von Atom-U-Booten bei

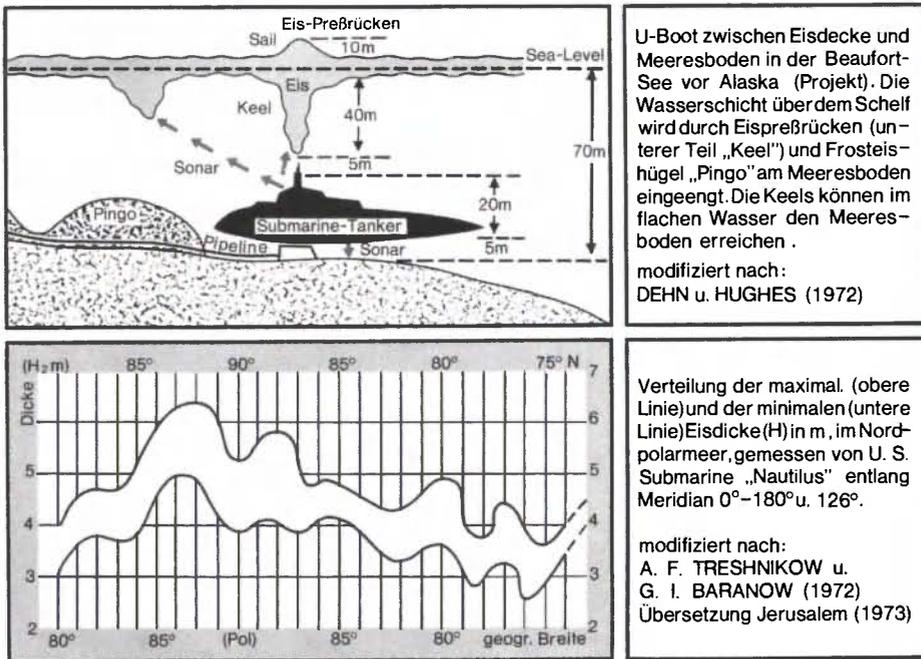


Abb. 8.8 a und b

Die Dicke der Eisschicht auf dem Nordpolarmeer

Abb. 8.8 a oben

Meereis, Eisdicke und bathymetrische Verhältnisse auf dem Schelf im Nordpolarmeer vor der Küste von Alaska, Beaufort See, und das Projekt von U-Tankern

Nach Untersuchungen von W. S. Dehn u. F. D. Hughes [1972] Good Sea-Ice Forecasting can be indispensable to Arctic Condition; Oilgas Journ. Oct. 23, p. 82–90 und in H. J. Walker [1975] Geoscience and Man, Vol. xII, Baton Rouge.

Abb. 8.8 b unten

Eisschicht im Verlaufe eines Profils über das Nordpolarmeer

Fahrten unter dem Polareis ergaben. Das Eis bekommt Substanzzuwachs durch Schneeeuflagen und Substanzverlust durch Schmelzen infolge Überspülung. Der Zustand der unteren Fläche der Eisdecke, die Anzahl der Salze und ihr Inhalt an Luftbläschen beeinflussen ihr Auseinanderbrechen und das Absorbieren akustischer Schwingungen bei Sonar-Messungen. O. C. Diachok [1976]: Recent Advances in Arctic Hydro-acoustics (Naval Research). Und ders. [1975]: Effect of Sea Ice Ridges on Sound Propagation in the Arctic Ocean.

Wenn eine Eisdecke entstanden ist, so dämpft diese eine einlaufende Dünung sehr stark.

Die Eisdecke hemmt den Lichteinfall in das Wasser stark (Polarsommer). Abb. 7.98

Eis hat je nach seiner Konsistenz und Dicke Farben von Dunkelgrau bis Weiß. Dickes Multi Year Ice erscheint weiß.

Eine Eisdecke wirkt als Isolator der oberen Grenzschicht des Meeres. Temperaturmessungen an Eisschollen des Nordpolarmeeres ergaben folgende Werte, die nach Jahreszeit und Tiefe im Eis variieren: im Winter in 0,25 m Tiefe -26°C , in 2 m Tiefe -10°C , im Sommer in 0,25 m Tiefe 0°C , in 2 m Tiefe $-1,2^{\circ}\text{C}$. Oberfläche und Unterfläche nehmen etwa die Temperatur der Grenzschichten Luft und Wasser an.



Abb. 8.9

Arktisches Packeis mit Brüchen und Öffnungen, nördliche Beaufort-See
Altes Eis, mindestens zweijährig (Multiyear). Dicke 1 m, z. T. 2 m, weiß.

Graues Eis über überfrorenen Öffnungen „Polynyas“, neugefrorenes an Frakturen, ca. 20 cm dick, mit dünner Kruste, „Nilas“, welche zu kleinen Spannungsrissen (Cracks) und zu schmalen Rinnen, 10–50 m breit, „Leads“, erweitert waren (große Öffnungen im Eis, d. h. ausgedehnte Wasserflächen heißen Polynyas, hier in Abb. nicht vorhanden).

Luftbildschrägaufnahme: H. G. Gierloff-Emden [10. Okt. 1975] Beaufort-See 75°N Breite
Von NASA Convair „Galileo II“, Pilot F. Drinkwater, Flughöhe ca. 7500 m, Bildbreite ca. 2,5 km, Leiter der Mission: E. Petersen

Eine Eisscholle im Nordpolarmeer besteht also nicht aus homogenem Material. Bei Eisschollen von einem Alter von über fünf Jahren hat die ehemalige Unterschicht infolge Abschmelzens der Oberschicht allmählich die Oberfläche selbst erreicht, während nach der Unterseite Zuwachs durch Gefrieren erfolgt ist. Im Nordpolargebiet beträgt das jährliche Abschmelzen an der Oberfläche etwa 0,5 m, entsprechender Zuwachs findet im Winter statt.

Da Meereis sich häufig in Bewegung befindet, entstehen vielerlei Eisformen durch Dynamik: Festformen durch Aufschiebungen (Veränderung der Topographie), Öffnungen in der Eisdecke durch Zerrungen und Drift (Veränderung der Bedeckung). Infolge von Bewegungen wird die Eisdecke zu Packeis, in welchem einzelne Schollen unterschiedliche Rotationsbewegungen durchführen können.

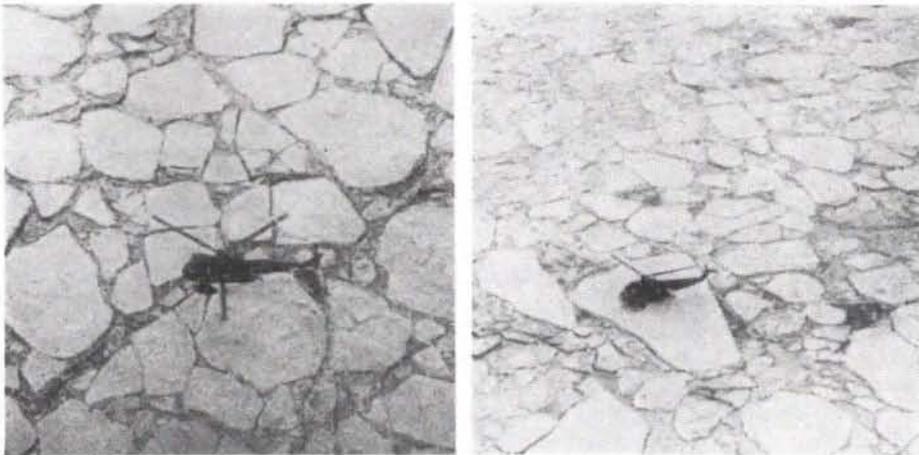


Abb. 8.10

Packeis in der Bering See, März 1973. Dichte Schollen $\frac{9}{10}$ Eisbedeckung

Weißes Eis, erstjährig. Heliokopter der USSR auf den Stationen R3 und R5 ca. 600 km SW der Bering-Straße. Länge des Heliokopters 11 m.

Messung der Eisdicke und Schneeauflage.

links:

Station R3

Position: $61^{\circ} 20' N, 177^{\circ} 48' W$

Eisdicke 0,59 m

Schneeauflage 0,13 m

rechts:

Station R5

Position: $61^{\circ} 05' N, 177^{\circ} W$

Eisdicke 0,81 m

Schneeauflage 0,07 m

Nach USSR/USA Bering Sea Experiment

Proceedings of the final Symposium on the Results of the Joint Soviet-American Expedition, Leningrad, 12—17 May, 1974.

Edited by: K. Ya. Kondratyev, Yu. I. Rabinovich u. W. Nordberg, Leningrad [1975], R. O. Ramseier, P. Gloersen, W. J. Campbell and T. C. Chang: Meso Scale Description for the principal Bering Sea Experiment

Zur Dynamik von Treibeis



Abb. 8.11

Kinematik von Treibeis auf dem Meere im Gezeitenbereich der Nordsee

Treibeisfelder werden mit dem Gezeitenstrom bewegt und zeigen nach Position und Form die Bewegung des Wassers an der Oberfläche an. Hier im Bild: Eisband (Eisstreifen), Gezeitenströmung in der Inneren Deutschen Bucht mit Stromband (rechts) und Verwirbelung (links Mitte). Aufnahme umfaßt einen Rahmen von etwa 1,4 km Breite, 1 km Höhe. Wirbel an Treibeisfeld ca. 600 m Durchmesser. Minimum Visible: kleine erkennbare Eisschollen, weiße Punkte, ca. 1 m Durchmesser. (Lockerer Treibeis). Bild Region ca. 3 sm von Scharhörn, über Robbenplate, Elbe-Einfahrtbereich. Eisbedeckung $\frac{4}{10}$, Schollen klein bis sehr klein.

Lit. vgl. DHI [1956] Atlas der Gezeitenströme für die Nordsee, den Kanal und die Britischen Gewässer. V. W. Ekman [1906] Beiträge zur Theorie der Meeresströmungen.

Aufnahme:

Hansa-Luftbild GmbH, freigegeben: Reg.-Präs. Münster/Westf., Nr. 123 v. 25. 1. 1968

Auftrag: Institut für Geographie, Universität Hamburg, Prof. Dr. A. Kolb, 6. 2. 1963

Flugsenkrechtaufnahme im Maßstab 1 : 8000, 22. 2. 1963, 15.35 Uhr, (Ausschnitt)

Flughöhe ca. 800 m, Reihenbild 23 × 23 cm, Bild Nr. 1628, Film Nr. 3 mit WILD RC 8, 15/23,

Avignon Nr. 86, f = 152,34 mm, Panchromatischer Film

Nach: H. G. Gierloff-Emden [1967] Das Luftbild als Hilfsmittel zur Aufklärung der Dynamik von Schweb- und Sinkstofftransport in der Nordsee, DHZ, H. 6, S. 266—278,



Abb. 8.12

Treibeisfeld in der Nordsee. Vom Treibeis eingeschlossene Insel Neuwerk

Links im Bilde (Osten) Küstenfesteis, oben Schollenbildung, im übrigen Treibeis, Schollen, angedriftet, Schollengröße klein bis mittel, auf der Oberfläche geschlossenes Eis

Aufnahme: Zeiss RMK 15/23 im Jan. 1968, Flughöhe 4000 m, Maßstab hier 1 : 27 000.

Norden ist im Bilde unten. Die Aufnahme ist so orientiert, daß Schatten auf Beobachter gerichtet ist (siehe Deich der Insel). Insel und Außendeichsland schneebedeckt (weiß).

Aufnahmezeit: HW. Das Bild liegt im Raum der Seekarte DHI Nr. 138.

Infrarot-Film, kontrastreich, Wasser erscheint schwarz (vgl. Priele und Außendeichsland).

Region bei NW-Stand vgl.: H. G. Gierloff-Emden [1961] Luftbild und Küstengeographie an der deutschen Nordseeküste.

Aufnahme: Vermessungsbüro N. Rüpke, Hamburg. Freigegeben durch LAH unter Nr. 43/68.

Ein Schema der Entwicklung der Meereisarten wurde von Scharnow [1955] entwickelt. Dabei wird unterschieden nach der Entstehung von Meereis in ruhiger See und in bewegter See (bei Seegang). Bei ruhiger See entsteht kristallines Neueis und dann primäres Festeis. Bei Seegang entsteht loser Eisbrei und daraus primäres Treibeis. Aus dem primären Festeis kann sekundäres Treibeis entstehen, wenn Seegang einsetzt. Aus dem primären Treibeis kann sekundäres Festeis entstehen, wenn Seegang aufhört und weiter Frost herrscht. Aus beiden Entstehungsarten kann Packeis entstehen. W. Schwarzacher [1959]: Pack-ice Studies on the Arctic Ocean. J. Stefan [1891]: Über die Theorie der Eisbildung, insbesondere über die Eisbildung im Polarmeer. N. Untersteiner u. F. Badgley [1965]: The Roughness Parameters of Sea Ice. N. Untersteiner u. G. A. Maykut [1970]: Arktisches Meereis.

Das Schwimmen von Eis auf dem Meere und die Eintauchtiefe

Ein Stück Eisscholle schwimmt auf dem Meere in hydrostatischem Gleichgewicht, bestimmt von Dichte des Eises und des Wassers. Die Dichte von Wasser des Nordpolarmeeres kann z. B. zu $1,025 \text{ g/cm}^3$ angenommen werden (abhängig von Temperatur und Salzgehalt).

Die spezifische Schwere von Meereis variiert zwischen 0,85 und 0,93; diejenige von Süßwasser beträgt etwa 0,917. Damit schwimmt Süßwassereis im Seewasser mit 0,105 seiner Dicke über der Oberfläche. Für Meereis von einer spezifischen Schwere von 0,89 gilt, daß es mit 0,131 seiner Dicke über der Oberfläche schwimmt, d. h. Frischwassereis schwimmt mit 90 % seines Volumens unter der Oberfläche (Eisberge), und Meereis schwimmt mit 87 % seines Volumens unter der Oberfläche.

Die Eintauchtiefe von schwimmendem Eis variiert mit der Dichte des Seewassers (in Abhängigkeit von Temperatur und Salzgehalt) und mit der Dichte des Eises (ebenfalls in Abhängigkeit von Temperatur und Salzgehalt).

Eintauchtiefe von Eis in Meerwasser bei einer Form mit senkrechten Wänden

Dichte des Eises	0.6	0.7	0.8	0.9
Dichte des Wassers				
1.00	1.5	2.3	4.0	9.0
1.03	1.4	2.1	3.5	7.0

Tabelle nach Werten von N. H. Zubov [1957]: Oceanological Tables, Hydrometeorological Inst. Leningrad, UdSSR, aus: F. Walton Smith (Ed.) [1974]: Handbook of Marine Science, Bd. I.

Eiszerfall und Schmelzen.

Der Eiszerfall mit seinen Schmelz- und Bewegungsvorgängen wird näher beschrieben bei E. Bruns [1962]: Ozeanologie. Bd. 2.

Sobald sich die Eistemperatur 0° nähert, setzt der Schmelzprozeß ein. Die Salzwasserzellen vergrößern sich und verbinden sich untereinander, was zu

einem verstärkten Aussickern der Lauge führt. Das Eis schmilzt von innen heraus, aber auch an der Oberfläche kommt es zur Bildung von Schmelzwasserpfützen und -tümpeln (Puddles). Im letzten Stadium wird das Eis körnig und porös, es „rottet“ (Rotten Ice) und enthält freies Wasser. Vgl. Abb. 8.39. Schmelzwasserseen auf dem Eis vergrößern sich im Sommer sehr rasch, weil die Albedo (Reflexionsvermögen) für die wärmewirksame Infrarotstrahlung bei Eis 12 %, im Wasser nur 1 % beträgt, während für die Gesamtstrahlung auf der Eisoberfläche der reflektierte Anteil 50 % ausmacht.

Die Wasserflächen auf dem Eise sind im Gegensatz zum trockenen Eis oder Schnee mit Hilfe von Infrarotaufnahmen wegen der kontrastreichen Abbildung gut feststellbar, jedoch nicht im Gegensatz zu eisfreien Wasserflächen des Meeres.

Das Meereis als tragende Schicht auf dem Wasser.

Geschlossene Eiskecken werden bzw. wurden wegen ihrer Tragfähigkeit als Verkehrswege genutzt, z. B. in den Bereichen der Haffs an der Ostseeküste. Die Expeditionen zum Nordpol mit Schlitten wurden und werden noch über die Eiskecke unternommen; die russischen Forschungs-Stationen befinden sich auf Eiskecken. Dort fahren Traktoren und landen und starten Flugzeuge.

Im Ostseebereich wurde von der Eiskecke aus die Eisfischerei betrieben.

Die Tragfähigkeit von Meereis ist von Dicke und Festigkeit abhängig; diese variiert mit Temperatur und Salzgehalt. Kälteres Eis hat eine wesentlich größere Tragfähigkeit als wärmeres Eis.

Bruns (Bd. 2) gibt an, daß die minimale Stärke von See-Eis für Skiläufer zwischen 4 cm und 7 cm beträgt, für PKW von 3 t zwischen 21 cm und 28 cm, für Traktoren von 6 t zwischen 29 cm und 38 cm, für Traktoren von 12 t zwischen 42 cm und 55 cm.

Tiere als ökologisch-morphologischer Faktor für das Meereis

Das Eis kann in einigen Regionen des Nordpolarmeeres und in Baffin Bay und Davis Street auch von Meerestieren verändert werden. Robben können von der Unterseite der Eisschicht größere Hohlräume zustandebringen und offenhalten, von denen aus sie nach oben zur Oberfläche des Eises Atemlöcher offenhalten. Diese Verhaltensweise wird von Eskimos zur Seehundjagd ausgenutzt.

Die Oberfläche des Meereises wird durch eine Anzahl von Tieren in regelmäßigem Kontakt beeinflusst: Eisbär, Walroß und mehrere Robbenarten verbringen einen großen Teil ihres Daseins auf dem Eis. Sie hinterlassen Spuren der Verformung im Eis wie Ruhe- und Bewegungsspuren oder Fäkalien Spuren. In den USA und in Kanada wurden einige große Forschungsprogramme zu dieser Problematik eingerichtet.

C. Ray führte schon in den 60er Jahren eine Expedition zum Tauchen unter das Eis durch, um die Lebensverhältnisse von arktischen und antarktischen Tieren aus der direkten Beobachtung zu erforschen. C. Ray et al. [1978]: Strategies for Protecting Marine Mammal Habitats.

Eisnomenklatur

Eine Eisnomenklatur für den internationalen Gebrauch wurde im Jahre 1956 von der WMO (World Meteorological Organization) eingeführt. Die deutsche Übersetzung (mit englischen Begriffen) gab F. Nusser [1956], DHZ, Bd. 9, H. 4, heraus. F. Nusser hatte als Vertreter der BRD in der internationalen Working Group mitgewirkt. F. Nusser hat 1964 im Handbuch für die Fischereigegebiete des Nordwestatlantischen Ozeans eine Definition der Eiszeichnungen gegeben.

Diese Eisnomenklatur der WMO war vor allem für die Vereisung der polaren Gewässer bestimmt, konnte jedoch auch für den Vereisungstyp der Nebenmeere gemäßiger Breiten, wie z. B. Ostsee, verwendet werden.

Nach einer raschen Weiterentwicklung der Erforschung des Meereises wurde im Jahre 1967 von der Arbeitsgruppe „Schnee und Eis“ der Kommission für Maritime Meteorologie in der WMO eine neue Fassung der Eisnomenklatur ausgearbeitet. Diese neue WMO-Eisnomenklatur wurde unter dem Titel „WMO Sea Ice Nomenclature“ 1970 viersprachig (englisch, französisch, russisch, spanisch) herausgegeben. Edition: Secretary of the WMO, Geneva, Nr. 259, 147 S. In dieser neuen WMO-Eisnomenklatur wurden auch die Bewegungsvorgänge des Eises besonders berücksichtigt. Sie enthält:

1. Eine Gliederung der Eiszeichnungen, die nach hauptsächlichen Merkmalen des Eisvorkommens vorgenommen wurden, in Dezimalklassifikation.
2. Eine Definition der in alphabetischer Reihenfolge angeordneten Eiszeichnungen.
3. Einen Bildteil von über 100 Seiten mit Schwarz-Weiß- und einigen Farbphotos zu den Begriffen der Klassifikation, zumeist Luftbilder.

Eine Übersetzung der WMO-Eisnomenklatur von 1967 in deutscher Sprache wurde von G. Koslowski [1969] in der DHZ, H. 6, S. 57–67, veröffentlicht. Diese Übersetzung enthält die englischen Begriffe der WMO und die deutsche Übersetzung. Die jeweilige Beschreibung der einzelnen Eisbegriffe ist hier nur im alphabetischen Teil gegeben. Der Bildteil des Originals der WMO ist nicht enthalten. Die Nomenklatur umfaßt 10 Seiten und enthält etwa 110 Klassifikationsbegriffe. Für Satellitenaufnahmen davon nur etwa 45.

In der WMO-Eisnomenklatur von 1970 erfolgt die Gliederung der Eiszeichnungen:

1. Schwimmendes Eis - Floating ice
2. Entwicklung - Development
3. Arten des Festeises - Forms of fast ice
4. Treibeis - Pack ice
5. Bewegungsvorgänge des Treibeises - Pack ice motion processes
6. Deformationsvorgänge - Deformation processes
7. Öffnungen im Eis - Openings in the ice
8. Besonderheiten der Eisoberfläche - Ice surface features
9. Abschmelzstadien - Stages of melting
10. Im Meer vorkommendes Landeis - Ice of land origin
11. Himmels- und Luftanzeichen - Sky and air indications
12. Bezeichnungen für die Schifffahrt auf dem Wasser - Terms relating to surface shipping
13. Bezeichnungen für Unterseebootfahrten - Terms relating to submarine navigation

Kosłowski [1969] publizierte das Gliederungsprinzip der Eisnomenklatur der WMO in Form einer graphischen Darstellung, die die Struktur der Klassifikation erkennen läßt: „Die WMO Eisnomenklatur“, DHZ, Jg. 22, H. 6.

Eine Aufstellung der WMO-Eisnomenklatur von 1967 (Gliederung und Definition) ist auch (Gliederung in verkürzter Form) ohne Abbildungen jedoch mit alphabetischem Verzeichnis in dem nautischen Buch des Deutschen Hydrographischen Institutes, Nr. 2000, „Für Brücke und Kartenhaus“, wiedergegeben.

Eine sehr ausführliche Beschreibung der Arten des Meereises mit Klassifikationen in Anlehnung an sowjetrussische Autoren, K. K. Derjuginou, D. B. Karelin [1954]: Eisbeobachtungen auf den Meeren. Hydrometeorologischer Verlag Leningrad (russisch) gab E. Bruns [1962], Bd. II: Arten des Meereises und die Beobachtung der Eisverhältnisse. Und: Klassifikation, äußere Merkmale und Definitionen.

Die Anzahl der möglichen Eisklassifikationen ist groß. Gegliedert wird z. B. nach den Kategorien: Genese, Morphologie, Alter, Struktur, physikalisch-mechanische Parameter, geochemische Parameter, nautische Aspekte (Verteilung von Passierbarkeit), geographische Aspekte (regional), Dynamik des Eises.

Auf den Eiskarten der verschiedenen Nationen werden noch immer unterschiedliche Merkmale für die Legende verwendet. Das ist durch den Maßstab der Karten, ihren Verwendungszweck und die dargestellte Region bedingt. Beispiele vgl. Kap. Sibirischer Seeweg und Vereisung der Ostsee.

Die Eisbedeckung, auch „Eisdichte“ genannt, wird nach Zehntel des Verhältnisses Eis zur freien Wasserfläche angegeben, in den Eismeldungen einiger Länder nach Achteln. Das ist ein statistischer Wert in bezug auf die Flächenverteilung, mit dem keine Aussage über viele kleine Schollen oder nur wenige große gegeben ist.

Die Beschreibung der Eisarten erfolgte bis 1945 bei der Eiserkundung durch Flugzeuge, die auf die Schiffbarkeit der Gewässer ausgerichtet war, nach 10 Hauptarten der Eisverhältnisse:

0) Eisfrei, 1) Neueis oder loser Eisbrei, 2) Festeis (bis 15 cm dick), 3) Treibeis (Schollen bis 15 cm dick), 4) zusammengeschobener Eisbrei oder dichte Treibeisstreifen, 5) offene Seerinne längs der Küste, 6) starkes Festeis (über 15cm dick), 7) starkes Treibeis (Schollen über 15 cm dick), 8) Packeis, 9) Eispressung.

Merkblatt für die Eiserkundung durch Flugzeuge. Bearbeitet von der Deutschen Seewarte, Januar 1945, Nr. 2310.

Die geographischen Typen der Meeresvereisung.

Mehrere dieser „geographischen Typen“ der Meeresvereisung wurden aufgestellt. Diese Typen bieten viel Diskussionsstoff, und Einteilungsprinzipien sind wie bei Küstenklassifikationen reichlich vorhanden. Meist werden in der Begriffsbildung verschiedene Kategorien durcheinander verwendet, wie klimatologische und topographische, z. B. Polarer Typ und Buchtentyp.

J. Büdel [1950]: Atlas der Eisverhältnisse des Nordatlantischen Ozeans und Übersichtskarten der Eisverhältnisse des Nord- und Südpolargebietes: DHI Nr. 2325 u. a. Publikationen.

Bedeutung der Eisarten für Aufstellung eines zonalen Systems für die Kalkulationsgrundlagen zu Arbeitseinsätzen im Norden Amerikas. Vgl. Abb. 8.42

Von L. E. Hamelin, Centre d'Etudes Nordiques, Univ. Laval, Quebec: "A zonal System of Allowances for northern Workers, an Example for applied Geography". The Musk-Ox, a Journal of the North, Publ. Nr. 10, S. 5-20 (1972), Univ. Saskatchewan, Saskatoon, Canada.

Unter dem Grad „Nordicity“ wird diejenige erschwerte Arbeitsbedingungen und Naturverhältnisse einzelner Zonen verstanden. Die Region „Extreme North“ umfaßt den kanadischen arktischen Archipel. Zu den Kriterien „Valeurs polaires“ gehören u. a. z. B. monatliche Kältegrade und „Types of Ice“; und „Floating Ice“.

Grad der Bewertung, „Nordicity“, als Lebensraum nach Meereisbedeckung

	Wert		Wert
Permanent Pack in the Arctic Ocean	100	Pack for 6 Months	40
Pack on Peri-arctic Seas	90	Pack for 4 Months	20
Pack for 9 Months	60	Pack for less than 1 month	0

Formen des Meereises und Definitionen (Klassifikation)

(zusammengestellt von Franz Nusser [1958/59], Hamburg, Geographisches Taschenbuch).

Die Commission for Maritime Meteorology (CMM) der World Meteorological Organization (WMO) stellte 1956 folgende offizielle, in Auswahl wiedergegebene internationale Eisnomenklatur auf. (Bezeichnungen in russischer Sprache sind weggelassen.)

Die Formen des Meereises und Definition werden hier nach der Aufstellung von F. Nusser gegeben, weil sich diese Aufstellung nach Umfang und Ausführlichkeit der Beschreibung für eine Darstellung im Rahmen dieses Buches eignet. (Mit freundlicher Genehmigung.)

Neuere Klassifikationen siehe vorherige Seiten.

I. Meereis

1. Entwicklung

Neueis – New ice –. Eine allgemeine Bezeichnung, die Kristalle, Eisschlamm, Eisbrei, Pfannkucheneis und Eishaut einschließt.

Eiskristalle – Ice crystals –. Feine Nadeln oder Plättchen aus Eis, im Wasser schwebend.

Eisschlamm – Ice slush –. Eine Anhäufung von zusammengefrorenen Eisnadeln auf der Wasseroberfläche. Sie bilden Flecken oder eine dünne, zusammenhängende Schicht von grauer oder bleierner Farbe. Die Meeresoberfläche, die mit Eisschlamm bedeckt ist, hat eine dunkle Farbe.

Sneeschlamm – Snow slush –. Eine zähe Masse, die bei starkem Schneefall im abgekühlten Wasser entsteht.

- Eisbrei - Sludge -. Schwammartige, weißliche Eisklumpen von wenigen Zentimetern Durchmesser.
- Pfannkucheneis/Tellereis - Pancake ice -. Neu gebildete Eisstücke, gewöhnlich fast kreisförmig mit einem Durchmesser von ungefähr 30 cm bis 3 m. Als Folge des Aneinanderstoßens der einzelnen Eisstücke durch Wind und Seegang ist der Rand erhöht.
- Eishaut - Ice rind -. Eine dünne, elastische, glänzende Eiskruste, weniger als 5 cm dick, entstanden durch das Zusammenfrieren von Eisschlamm oder Eisbrei auf einer ruhigen Meeresoberfläche. Sie wird durch Wind oder Seegang leicht zerbrochen. Beim Durchfahren eines Schiffes ist ein klirrendes Geräusch zu hören.
- Jungeis - Young ice -. Frisch gebildetes ebenes Eis, gewöhnlich im Übergangsstadium von der Eishaut oder dem Pfannkucheneis zum Wintereis. Dicke des Eises 5-15 cm. Es kann in der Regel nicht betreten werden. Das Reisen auf ihm mit Hundeschlitten oder das Landen von Flugzeugen mit Ski oder Rädern ist gefährlich.
- Wintereis - Winter-ice -. Mehr oder weniger ungebrochenes ebenes Eis, das in einem Winter aus dem Jungeis entstand. Dicke des Eises von 15 cm bis 2 m. Absolut sicher für Reisen über das Eis. Unterteilung: Mittelstarkes Wintereis - Medium winter-ice (15-30 cm dick), starkes Wintereis - Thick winter-ice (mehr als 30 cm dick).
- Polareis - Polar ice -. Außerordentlich starkes Meereis, 3 m oder noch dicker, in mehr als einem Winter gebildet, stark aufgepreßt. Durch Verwitterung kann es schließlich eine mehr oder weniger ebene Oberfläche erhalten. Unterteilung: Junges Polareis, Arktisches Polareis.
- Junges Polareis - Young polar ice -. Polareis, das im ersten Sommer seines Bestehens nicht geschmolzen und in die zweite Wachstumsperiode eingetreten ist. Am Ende des zweiten Winters hat es eine Dicke von 2 oder mehr Metern. Es unterscheidet sich von dem 1 Jahr alten Eis dadurch, daß ein größerer Teil aus dem Wasser ragt und die Aufpressungen abgerundeter sind.
- Arktisches Packeis - Arctic pack -. Fast salzfreies Eis, über 2 Jahre alt. Dicke des Eises mehr als 2,5 m. Die Eisoberfläche ist gewellt. Die Eisaufpressungen unterlagen mehr als einmal einer Oberflächenabschmelzung und sind deshalb gerundet. Wenn eine Schneedecke fehlt oder nur sehr dünn ist, hat das Eis eine blaue Farbe verschiedener Schattierungen.
- Buchteis - Bay-ice -. Ebenes Eis, das in mehr als einem Winter gebildet und nicht aufgepreßt wurde. Schneeschichten auf der Oberfläche trugen zum Dickenwachstum bei. Die Höhe des Eises und Schnees über dem Meeresspiegel kann bis etwa 2 m betragen.
- Schelfeis - Ice-shelf -. Eis mit ebener Oberfläche, das mehr als 2 m über den Meeresspiegel ragt. Es bildet sich durch den jährlichen Zuwachs von Firnschnee auf dem Buchteis oder auf einem in die See vorgeschobenen Gletscher.
- Eisinsel - Ice island -. Von einem Schelfeis losgelöster treibender Teil.

2. Formen des Festeises

- Festeis - Fast-ice -. Meereis, das gewöhnlich an der Stelle, an der es ursprünglich entstanden ist fest bleibt. Es kann eine beträchtliche Dicke erhalten. Es kommt entlang den Küsten vor, wo es am Ufer befestigt ist, oder über Untiefen, wo es durch Inseln, gestrandete Eisberge oder durch gestrandetes Packeis am Ort gehalten wird.
- Küstenfesteis - Shore ice -. Grundform des Festeises. Es ist eine an den Küsten befestigte, im flachen Wasser auch bis zum Grund reichende kompakte Eisdecke. Bei Änderungen des Meeresspiegels können vertikale Schwankungen beobachtet werden. Das Küstenfesteis kann mehrere Hunderte von Kilometern breit werden.
- Winterfesteis - Winter fast-ice -. Festeis in Fjorden, Buchten und Meeresstraßen, hauptsächlich durch Wachstum von den Küsten aus, aber auch das Zusammenfrieren von Treibeis/Packeis entstanden. Winterfesteis hebt und senkt sich entsprechend den Gezeiten.

Buchteis – Bay-ice –. (Siehe oben).

Polares Küstenfesteis – Polar fast-ice –. Festeis, entstanden durch Strandung und Zusammenfrieren von Polareis. Am Ende des Winters kann es mehrere Zehner von Kilometern in die See hinausreichen.

Eisfuß – Icefoot –. Eisstufe, an der Küste befestigt, wird durch die Gezeiten nicht bewegt und bleibt zurück, wenn das Küstenfesteis abtreibt. Es gibt verschiedene Eisfußformen.

Grundeis – Anchor ice/Ground ice –. Am Boden befestigtes oder verankertes Eis, gleichgültig welcher Entstehungsart.

3. Treibeis/Packeis – Drift-ice/Pack-ice

a) Eisbedeckung

Bemerkung: Diese wird in einigen Eisberichten nach Achteln, in anderen nach Zehnteln gerechnet.

Sehr dichtes/zusammenhängendes Treibeis/Packeis – Very close drift-ice/pack-ice –. Eisbedeckung praktisch $\frac{10}{10}$ oder $\frac{8}{8}$. Wenig oder gar kein offenes Wasser vorhanden.

Dichtes Treibeis/Packeis – Close drift-ice/pack-ice –. Zusammengesetzt aus sich meist berührenden Schollen. Eisbedeckung $\frac{7}{10}$ – $\frac{9}{10}$ oder $\frac{6}{8}$ – $\frac{7}{8}$.

Lockereres Treibeis/Packeis – Open drift-ice/pack-ice –. Die Schollen berühren sich nur selten, viele Rinnen und Stellen offenen Wassers sind vorhanden. Eisbedeckung $\frac{4}{10}$ – $\frac{6}{10}$ oder $\frac{3}{8}$ – $\frac{5}{8}$.

Sehr lockeres Treibeis/Packeis – Very open drift-ice/pack-ice –. Mehr Wasser als Eis. Eisbedeckung $\frac{1}{10}$ – $\frac{3}{10}$ oder $\frac{1}{8}$ – $\frac{2}{8}$.

b) Größe der Schollen

Eisscholle – Ice-floe/Flohe –. Ein einzelnes Stück Meereis aber nicht Festeis, groß oder klein, je nach der Dicke als „schwach“ oder „stark“ bezeichnet.

Sehr groß – vast	= Durchmesser über 20 km
Groß – big	= Durchmesser 1 bis 10 km
Mittelgroß – medium	= Durchmesser 200 bis 1000 m
Klein – small	= Durchmesser 10 bis 200 m
Sehr klein – Ice-cake	= Durchmesser weniger als 10 m

Eisbergstück – Bergy-bit –. Ein mittelgroßes Eisstück, gewöhnlich weniger als 5 m über den Wasserspiegel ragend, ungefähr von der Größe eines kleinen Hauses. In den meisten Fällen aus Gletschereis bestehend, gelegentlich aber auch ein massives Meereisstück oder losgebrochenes Preßeis. Wenn die Entstehung aus Meereis sicher ist, kann der Ausdruck Schollenberg – Floeberg gebraucht werden.

Growler/Eishümpel – Growler –. Eisstück, kleiner als ein Eisbergstück, häufig von grünlicher Farbe und nur wenig über das Wasser ragend. Es kann sowohl aus Meereis als auch aus Gletschereis entstanden sein.

Trümmereis – Brash-ice –. Anhäufung von kleinen Bruchstücken mit nicht mehr als 2 m Durchmesser; Trümmerform von anderen Eisformen.

c) Anordnung

Eisfeld – Ice-field –. Ein Gebiet mit Treibeis/Packeis, bedeckt mit Schollen irgendeiner Größe und von so weiter Ausdehnung, daß seine Grenzen von der Ausgucktonne eines Schiffes nicht übersehen werden können.

- Eisgürtel – Belt –. Langgestrecktes Gebiet mit Treibeis/Packeis, von wenigen Kilometern bis mehr als 100 km breit.
- Eisbank – Patch –. Eine Ansammlung von Treibeis/Packeis mit weniger als 10 km Durchmesser. Die Grenzen sind von der Ausgucktonne übersehbar.
- Bucht – Bay/Bight –. Eine Einbuchtung des Eisrandes, durch Wind oder Strömung entstanden.
- Zunge – Tongue –. Ein bis mehrere Kilometer langer Vorsprung des Eisrandes, durch Wind oder Strömung entstanden.
- Streifen/Band – Stream/Strip/String –. Ein langes schmales Gebiet mit Treibeis/Packeis, ungefähr 1 km oder weniger breit, gewöhnlich zusammengesetzt aus kleinen Bruchstücken, die sich von der Haupteismasse losgelöst haben und durch Wind, Seegang oder Strömung zusammengetrieben wurden.
- Eisrand – Ice-edge –. Die zu irgendeiner Zeit vorhandene Grenze zwischen dem offenen Wasser und dem Meereis, sei es Treibeis oder Festeis.
- Dichter Eisrand/Eisbarre – Ice-bar –. Eisrand, aus Schollen bestehend, die durch Wind, See und Dünung zusammengepackt wurden; für Schiffe schwierig zu durchdringen.
- Offener Eisrand – Open ice-edge –. Unbeständiger und nicht scharf ausgeprägter Eisrand, der ein Gebiet lockeren Eises begrenzt. In den meisten Fällen liegt er im Lee.
- Eisgrenze – Ice limit –. Mittlere Lage des Eisrandes in einem bestimmten Monat oder einer bestimmten Periode auf Grund von mehrjährigen Beobachtungen.

4. Aufbau und Oberflächenbeschaffenheit

- Flacheis – Level ice –. Eis mit einer ebenen Oberfläche, das niemals aufgepreßt wurde. Typisch für Buchten, Golfe, Sunde, Archipele und flaches Wasser, wo die Eisbildung ungestört vor sich geht.
- Preßeis – Pressure-ice/Screw-ice –. Eine allgemeine Bezeichnung für zusammengepreßtes und stellenweise aufgeschobenes Eis. Unterarten sind: Schiebeeis, aufgepreßtes Eis und Preßrücken.
- Schiebeeis – Rafted-ice –. Art des Preßeises, gebildet durch das Aufschieben von einer Scholle auf die andere.
- Aufgepreßtes Eis/Hügeleis/Packeis – Hummocked ice –. Willkürlich übereinandergehäuftes Eis.
- Preßrücken – Pressure ridge –. Rücken oder Wall von aufgepreßtem Eis, in dem die Schollen übereinandergehäuft wurden.
- Preßeishügel – Hummock –. Übereinandergehäufte Eisblöcke auf einer sonst verhältnismäßig ebenen Eisoberfläche.
- Verwittertes Eis – Weathered Ice –. Aufgepreßtes Polareis, das der Verwitterung unterliegt, die den Aufpressungen und Preßrücken abgerundete Formen gibt. Hält die Verwitterung an, so kann die Oberfläche mehr oder weniger eingeebnet werden.
- Eissporn – Ram –. Ein unter Wasser liegender Vorsprung eines Eisberges oder einer aufgepreßten Eisscholle. Er bildet sich gewöhnlich infolge der stärkeren Abschmelzung des über dem Wasser befindlichen Eises.

5. Öffnungen im Eis

- Riß, Spalte – Crack –. Jeder Bruch oder Riß im Meereis, der nicht so breit ist, daß er als Rinne bezeichnet werden kann. Ein Riß kann gewöhnlich übersprungen werden.
- Gezeitenriß/Gezeitenspalte – Tide crack –. Ein Riß, der sich zwischen dem Küstenfesteis und dem Eisfuß infolge der Schwankungen des Meeresspiegels bildet. Typisch nur für Gebiete mit Küstenfesteis.

Rinne/Wake - Lead/Lane -. Eine fahrbare Rinne durch Treibeis/Packeis.

Küstenrinne - Shore lead -. Eine Rinne zwischen dem Treibeis und der Küste oder zwischen dem Treibeis und einem schmalen Küstenfestsaum.

Polynya - Polynya -. Gebiet offenen Wassers von Eis, gewöhnlich Festeis, umschlossen. Dieses Gebiet offenen Wassers ist beständig und hat gewöhnlich eine längliche Form.

Polynya vor dem Rand des Küstenfesteises - Polynya off edge of shore ice -. Polynya zwischen dem Küstenfesteis und dem Treibeis/Packeis, gebildet durch ablandige Winde und Strömungen.

Tümpel - Pool -. Ein von Treibeis/Packeis umschlossenes, relativ kleines Gebiet offenen Wassers, anders als eine Rinne.

Offenes Wasser - Open water -. Ein verhältnismäßig großes, frei befahrbares Wasser in einer sonst eisbedeckten See.

II. Im Meer vorkommendes Landeis

Gletschereis - Glacier-ice -. Jedes bergförmige, im Meer treibende Eis, das von einem Landgletscher stammt.

Schelfeis - Ice-shelf -. (Siehe oben).

Eisinsel - Ice island -. (Siehe oben).

Eisberg - Iceberg -. Eine große Masse von treibendem oder gestrandetem Eis, mehr als 5 m über die Wasserfläche ragend, die entweder von einem Gletscher oder einem Schelfeis abgebrochen ist. Unterarten sind: Gletschereisberg und Tafelberg.

Tafelberg - Tabular berg, Barrier berg -. Ein oben flacher Eisberg mit horizontaler Firnschichtung, gewöhnlich von einem Schelfeis abgebrochen.

Gletschereisberg - Glacier berg -. Gletschereis, das von einem an die Küste reichenden Gletscher abgebrochen ist und entweder im Meere treibt, gewöhnlich mindestens 5 m über dem Meeresspiegel ragend, oder auf einer Untiefe gestrandet ist.

Eisbergstück - Bergy-bit -. (Siehe oben).

Growler/Eishümpel - Growler -. (Siehe oben).

Trümmereis - Brash-ice -. (Siehe oben).

Eisbildungsphänomene an der oberen Grenzschicht des Meeres

Wasserhimmel - Water-sky -. Charakteristische dunkle Flecken und Streifen auf niedrigen Wolken über offenem Wasser im Eis oder außerhalb des Eisrandes. Manchmal zeigen sie offenes Wasser an, das außerhalb der Sichtweite liegt.

Eisblink - Ice blink -. Ein typischer weißlicher Schimmer auf niedrigen Wolken über einer Ansammlung entfernt liegenden Eises. Besonders deutlich am Horizont ausgeprägt.

Frostrauch - Frost-smoke -. Nebelähnliche Wolken, entstanden durch die Berührung von kalter Luft mit verhältnismäßig warmem Wasser. Er tritt über neugebildeten Rinnen und eisfreien Stellen oder im Lee des Eisrandes auf und kann auch während der Bildung von Eisschlamm oder Eisbrei und Jungeis bestehen bleiben. Vgl. Abb. 8.4, auch „Seerauch“.

Seerauch (ursprünglich „arktischer Seerauch“) vgl. Abb. 8.4

Wo kalte Luft über wesentlich wärmeres Wasser strömt, bildet sich ein schwadenförmiger, nicht sehr hochreichender Nebel, den man wegen seines Aussehens als *Seerauch* bezeichnet.

Ursache ist die starke Verdunstung an der warmen Wasseroberfläche und die Abkühlung des Wasserdampfes in der wesentlich kälteren Luft unter den Taupunkt.

Auch hier kann man sagen, daß die sehr kalte Luft durch die starke Wasserdampffuhr übersättigt wird.

Daß der Seerauch in Schwaden auftritt, wird von der Turbulenz der Luft verursacht, die nebeneinanderliegende Auf- und Abwindwirbel bedingt. In den Aufwindteilen wird viel Wasserdampf mitgenommen und schnell unter den Taupunkt abgekühlt, in den Abwinden kommt die trockenere Luft von oben mit über dem Taupunkt liegender Temperatur an.

Seerauch kann für kleinere Schiffe gefährlicher sein als für größere. Wenn er z. B. 15 m hoch reicht, steht man auf der Brückennock eines größeren Frachters schon über der Nebelzone und sieht Teile benachbarter Schiffe herausragen, während man auf kleineren Schiffen keine Fernsicht mehr hat.

Dieser Seerauch wird besonders in arktischen Gebieten über Waken (Rinnen offenen Wassers im Eis) oder offenen Stellen in Eisfeldern beobachtet, wenn die Luft wesentlich kälter als das Wasser ist. Daher stammt der Name „arktischer Seerauch“. H. Prügel [1973], Wetterführer, S. 62

Schiffsvereisung, eine Erscheinung der Grenzschicht Hydrosphäre—Atmosphäre (Ozean—Luft)

Zahlreiche Schiffsverluste werden durch Vereisung verursacht. Besonders betroffen sind Fischdampfer und Fischkutter, die im nördlichen Atlantik und im Pazifischen Ozean in gefährdeten Zonen operieren. Auf Fischdampfern im Nordmeer wurden Eismäntel bis zu 0,7 m Dicke beobachtet.

In der Zeit von 1955 bis 1968 wurden sechs Fischdampferuntergänge infolge Spritzwasservereisung im Nordatlantischen Ozean gemeldet. Die Windstärken betragen um 10–11, die Lufttemperatur -5°C bis -12°C , die Wassertemperatur $+1^{\circ}\text{C}$ bis $+1,5^{\circ}\text{C}$.

Wenn überkommendes Seewasser oder Spritzwasser infolge von Lufttemperaturen unter 0°C , in der Wirkung verstärkt durch Wind, an Deck, Aufbauten, Takelagen und dem Fischereigeschirr gefriert, kann es rasch zu gefährlichen Stabilitätsveränderungen und Verdrängungszunahme (geringerer Freibord) und zum Kentern des Schiffes führen. Außerdem kann ein Nebel, der aus unterkühlten Wassertropfen (Seerauch) besteht, am Schiff zu gefährlichem Vereisungsabsatz führen, „black frost“ genannt. Sicher ist, daß Wasser- und Lufttemperatur, Kurs und Fahrt sowie Bauweise und Seeverhalten den Grad der Vereisung beeinflussen: Fahrzeuge, die viel Wasser übernehmen, sind besonders gefährdet. Bei schwerer See ist ein Entfernen des Eispanzers durch Abschlagen nicht möglich. Als neues Problem erwies sich die Spritzwasservereisung von Containern in Oberdeckslast, deren Enteisung kostspielig und zeitraubend ist. In der Ostseefahrt sind Kümos mit Holzladung an Oberdeck stark gefährdet, zumal das salzarme Ostseewasser schneller gefriert, als Meerwasser mit größerem Salzgehalt.

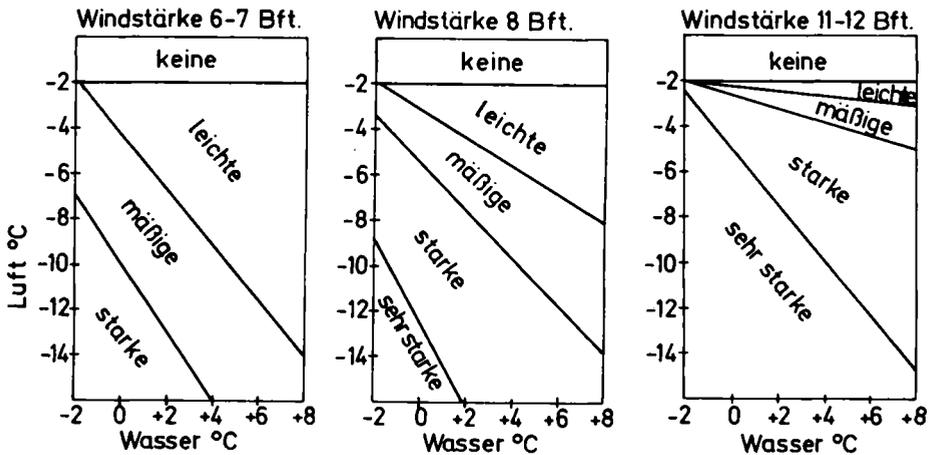
H. C. Mertins [1968]: Icing on Fishing Vessels due to Spray. Muschkeit [1968]: Eisgefährdung in der Hochseefischerei. M. Rodewald [1955]: Das Ende von „Rodrigo“ und „Lorella“. P. Emmrich [1971]: Über Wetter, Eis und Vereisung auf den Fischgründen Labradors im Winter.



Abb. 8.13 Eisbildung in der Grenzschicht Ozean – Luft

Spritzwasservereisung. Vereister Fischkutter, südliche Küste Alaskas

Der Kutter „Olaf“, Länge 26 m, wurde von der US Coast Guard am 17. Januar 1974 vor der Südküste von Alaska in der Jute Bay, Shelikof Straße, Insel Kodiak, auf Grund gelaufen vorgefunden; der Freibord war überflutet. Die vierköpfige Crew hatte den Kutter verlassen und blieb vermißt. Am Vortage herrschte hoher Seegang mit 10 m hohen Wellen und Windstärke von 70 kn, Lufttemperatur -10° C. Der Kutter war durch Vereisung von Spritzwasser instabil geworden.



Stärkegrad der Vereisung

leicht : 1-3 cm / 24h stark : 7-14cm / 24h
 mäßig : 4-6 cm / 24h sehr stark \geq 15cm / 24h

Abb. 8.14

Spritzwasser-Vereisung als Erscheinung der Grenzschicht Hydrosphäre — Atmosphäre

Vereisung von Fischereifahrzeugen durch Spritzwasser bei geringer Fahrt. Aus der Abb. ist die Bedeutung des Windes bei Gefriervorgängen in der Grenzschicht Wasser — Luft erkennbar.

The January 1974 issue of the Mariners Weather Log contained an article on superstructure icing. The marine forecasts issued by the Anchorage Weather Service Forecast Office include superstructure icing when air and sea temperatures and winds indicate icing is probable. The phrases light freezing spray, moderate freezing spray, heavy freezing spray with rapid accumulation of ice, and very heavy freezing spray with very heavy accumulation of ice are now a part of the marine forecast.

The following accumulation rates are based on ships in the 100- to 250-ton class:

Slow accumulation of ice is defined as less than 1.0 tons per hour.

Moderate accumulation of ice is defined as 1.0 to 2.0 tons per hour.

Rapid accumulation of ice is defined as 2.0 to 4.0 tons per hour.

Very rapid accumulation of ice is defined as more than 4.0 tons per hour.

Nach: O. Mertins [1968] Icing on Fishing Vessels due to Spray. Mar. Obs. 38 und Mariners Weather Log [May 1974] Nr. 3

Zu Abb. 8.13

Aufnahme: Official Coast Guard Photograph, Kodiak, Alaska, Photographer 011974-02

Nach: Example of Super Structure Icing. Mariners Weather Log, [Mai 1974], Bd. 18, Nr. 3

Mit freundlicher Genehmigung von US Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, Environmental Data Service, Ed.: E. E. Wilson [1975]

Meereis an Küsten

Die Wirkungen des Meereises an den Küsten sind von Bedeutung für Küstenmorphologie (Formung), Sedimentologie (Meeresboden), Küstenbau und Küstenschutz. Besondere Bedeutung kommt der Wirkung des Eises an Küsten und auf flachen Meeresböden im Meer mit Gezeitenerscheinungen zu. H. Sverdrup [1927]: Dynamics of Ice on the North Sibirian Shelf.

Bedeutende Forschungen zu dieser Thematik wurden von deutscher Seite im

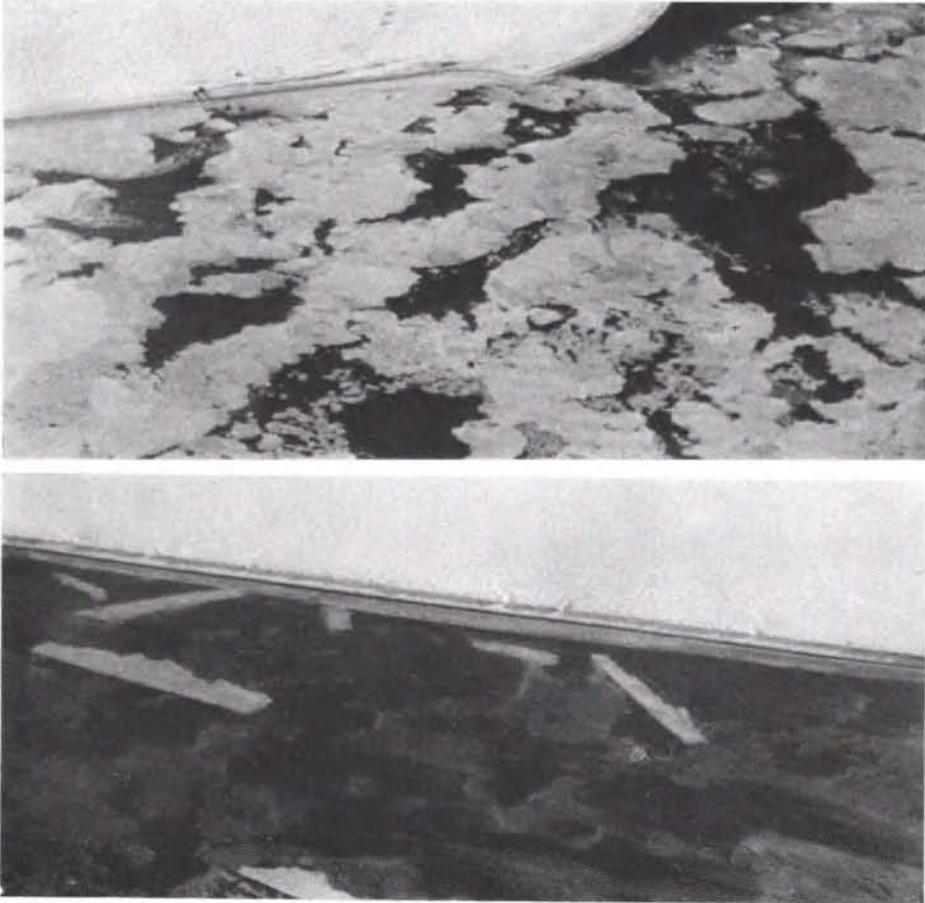


Abb. 8.15

Eisbildung an der Nordwestküste von Alaska, Tschuktschen See, Flachküste m. Nehrungen
Prozesse: Andrift von Schollen und Abdrift von Festeis

oben: Eisschollen, durch Wind an die Küste gedriftet, Land von Schnee bedeckt; graues Eis, jung, Dicke 10 cm bis 15 cm; Beginn des Winters. Oktober. (Am Strand zwei Hütten).

unten: Küsteneis von Brandung und von Gezeitenstrom von Küste losgerissen, lange Platten von Festeis (enthalten am Boden Sediment), Land von Schnee bedeckt; Beginn des Winters, schwimmend: Meereisbildung, „Frazil Ice“.

H. G. Gierloff-Emden [11. Okt. 1975] von NASA Convair „Galileo II“, Flughöhe ca. 800 m.

Ostseeraum von den Geographen der Universitäten Königsberg und Greifswald während der 20er und 30er Jahre geleistet, u. a. von Pratzje [1933], Blüthgen [1954] und später Reinhard [1954, 1958/59]. Als älteste Arbeit sei die von Bornhöft [1885]: Der Greifswalder Bodden, genannt.

Eine Arbeit über die Verhältnisse an der nordamerikanischen Ostküste gab J. C. Dionne [1970], die eine sehr umfangreiche Bibliographie zum Thema der morphologischen Wirkung des Eises an Küsten enthält. Für die Küsten Alaskas zum Nordpolarmeer erbrachte. H. J. Walker während der 60er und 70er Jahre detaillierte Ergebnisse.

Besondere Formen und Bildungsmechanismen kommen an den Küsten des Nordpolarmeeres dort vor, wo Permafrost im Boden vorhanden ist. In diesem Zusammenhang sind erosive und akkumulative Prozesse im jahreszeitlichen Rhythmus zu nennen.

Eiswälle von großer Erstreckung kommen z. B. an den Ufern des Weißen Meeres und der sibirischen Küste vor, wo diese langen Uferwälle den Namen „Korga“ tragen. U. Varjo [1960].

J. C. Dionne [1970]: Aspects morpho-sédimentologiques du glacier, en particulier des côtes du Saint-Laurent, Québec. Ders. [1972]: Caractéristiques des schorres des régions froides, en particulier de l'estuaire du Saint-Laurent. H. J. Walker [1973]: Morphology of the North Slope, in Alaskan Arctic Tundra. E. Reimnitz u. P. W. Barnes [1974]: Sea Ice as a geologic Agent on the Beaufort Sea Shelf of Alaska. Dies. [1972]: Sea Ice as a geological Agent affecting the Margin of the Arctic. A. D. Short u. W. J. Wiseman [1973]: Freezing Effects on Arctic Beaches. W. J. Wiseman et al. [1973]: Alaskan Arctic Coastal Processes and Morphology. H. G. Greene [1970]: Microrelief of an Arctic Beach.

H. E. Reineck [1976]: Drift Ice Action on Tidal Flats, North Sea, hat besonders die Wirkungen von Eisbildung auf den Watten bezüglich der Formen des Sedimentes behandelt.

Mit der winterlichen Eisbildung entsteht an Küsten von Flachwasserregionen Eis, das an Ufern und am Grunde aufsitzt, Festeis. Dieses Festeis hat Kontakt mit dem Substrat des Bodens. Durch Seegang, Gezeiten und Winde kann das Küstenfesteis zerbrochen und bewegt werden. Es folgt Eispressung, wodurch Eiswälle aufgeschoben werden – an arktischen Küsten bis zu 7 m hoch – und Eisschub, wodurch Geschiebe des Bodens bewegt wird. Auf diese Weise entstehen an den Ufern verschiedene zahlreiche Kleinformen. Bei größerem Ausmaß solcher Vorgänge kommt es zur Zerstörung an Küstenbauwerken und Seezeichen.

Im Bereich der arktischen Küsten Nordamerikas gilt das Eis als Merkmal zur Gliederung der Küste im Gezeitenbereich in Stockwerke. Ellis et al. [1969]: Arctic and Subarctic Examples of Intertidal Zonation.

Gliederung des Küsteneises von Land nach See:

1. Der Eisfuß (ice foot), d. h. Eis, welches ständig, auch während des Niedrigwasserstandes auf dem Boden fest aufliegt. Der Eisfuß ist an felsigen Küsten sehr schmal, an Flachküsten breit.
2. Der als Scharnier bewegte Teil des landfesten Eises auf dem Strand, mit dem landseitigen Rand stets fest auf dem Grund, mit dem seewärtigen Rand nur bei extremem Niedrigwasserstand auf dem Grunde fest.
3. Der seewärtige Teil des „Küstenfesteises“, das bei allen Wasserständen frei schwimmt ohne Grundberührung.

Eisbildung am Strand

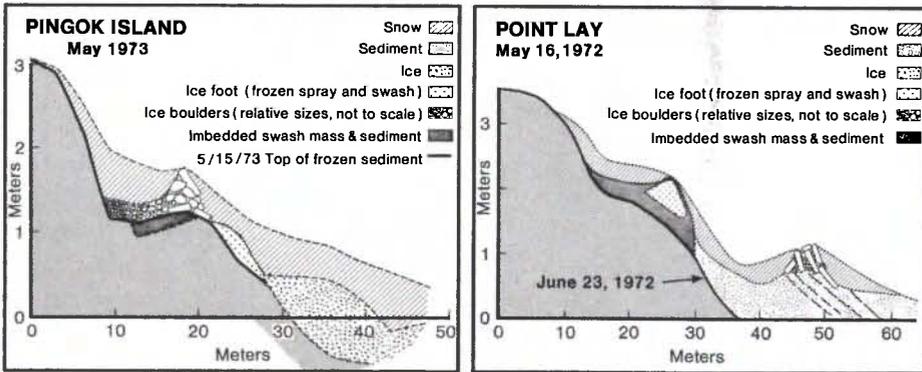


Abb. 8.16 a

Eisformen an der Küste
des Nordpolarmeeres

Eisfuß und Strandeisform und -bildung.
Profil (überhöht) durch Strand von
Pingok Island, Nordküste Alaska, nahe
Point Lay.

Winterstrand (Mai 1973) mit Absatz von
Drifteis während des letzten Herbst-
sturmes 1972 auf Neuweis und folgender
Meereseisbildung und Schnee-Akkumulation.
Untere Linie: Mean Sea Level.

Links oben: Tundra-Steilkante.

Abb. 8.16 b

Eisformen an der Küste
des Nordpolarmeeres

Eisrücken, Eisfuß im Profil (überhöht),
Strand von Point Lay mit Wechsellagen
von Eis und Schnee, Winterstrand (Mai 1972).

Typisch für 50 km Küstenlänge mit
Strandprofil nach Eisaufbruch 23. Juni.
Untere Linie: Mean Sea Level.

Links oben: Stranddüne. Gerissene Linie:
unterer Eisrücken aus Eisblöcken,
boulders, (rechts im. B. unten) ist hypo-
thetisch. Die Masse des Eises, die an dieser
Stelle der Küste eingebettet war, wurde
zu $10 \text{ m}^3/\text{m}$ Küstenlänge geschätzt.

Nach: A. D. Short [1976]: Observations on Ice deposited by Waves on Alaskan Arctic Beaches, S. 120, in: Rev. Géogr. Monr., Bd. 30, Nr. 1–2, S. 115–1222. Coastal Studies Institute, Louisiana State University, Baton

Zusammenfassung „Beobachtungen über das von Wellen abgelagerte Eis an arktischen Meeressränden in Alaska“. „Das entlang der Nordküste Alaskas angeschwemmte Eis stammt vom Packeis oder aus neugebildetem Eis. Wind und gezeitenabhängige Strömungen bringen das Eis in Küstennähe und der Wellengang deponiert es auf dem Strand. Man findet drei verschiedene Eistypen: Treibeis, Eisbrei und Gischteis. Treibeis kann während dem ganzen Sommer herangeführt werden. Eisbrei bildet sich zuerst in brackischen Lagunen und Aestuaren; es wird von Strömungen regelmäßig in küstennahe Gebiete gespült, wo es von Wellen auf den Strand geworfen wird. Gischt, Schaum und Sprühwasser gefrieren an der Oberfläche des Strandes, sobald die Luft- und Wassertemperatur unter 0°C fallen. Alle genannten Vorgänge bewirken die Bildung von Strandstrukturen bestehend aus eingebetteten Eisstücken, Eisbreistufen, Lagen von gefrorener Gischt, Sprühwasser und Meeresschaum sowie Schnee, wobei jeweils Sedimente dazwischen eingelagert werden können. Im Winter zeigt der Strand auch 2–3 m hohe Eiskämme, die durch den sich bildenden Eisfuß entstehen, sowie von neugebildetem Küsteneis umgebenes Packeis. Das Schmelzen von Eis und Schnee stört die Schichtung und führt zu Senkungs- und Thermokarstformen.“ nach A. D. Short [1976]. Vgl. W. J. Wiseman et al. [1973] Alaskan Arctic Coastal Processes and Morphology

Die Wirkungen des Küsteneises werden besonders intensiv, wenn es zum Eisaufruch kommt, und die Trümmer des Küsteneises Erosionserscheinungen am Ufer, Meeresboden und an Bauwerken bewirken. Regional können große Steinblöcke mit diesem Eis verfrachtet werden. In der Ostsee wurden die vom Eis aus den Steilküsten der Moränenlandschaft herausbeförderten Blöcke im flachen Wasser nach dem Ausschmelzen aus dem Eis von den Steinfischern gesucht. Dem Sedimenttransport durch Küsteneis kommt große geologische Bedeutung zu. Mit den Auftauvorgängen kommt es regional zu speziellen hydrologischen Erscheinungen an der Küste.

Im Nördlichen Bottnischen Meerbusen der Ostsee entstehen so auf flacher Schorre Blockfelder.

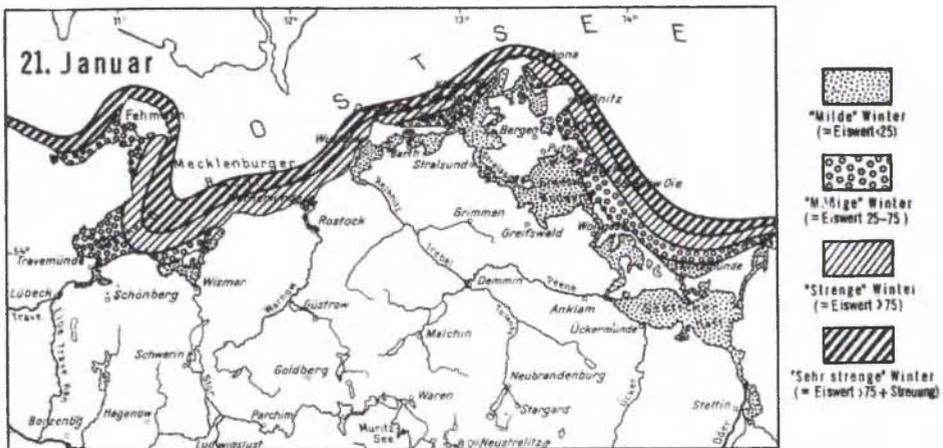


Abb. 8.16 c Mittlere Ausbreitung des Eises an der Küste der Ostsee

Nach: Prüfer [1942], aus: J. Blüthgen [1954] Die Eisverhältnisse der Küstengewässer von Mecklenburg und Vorpommern, Karte 40

„Im Spätwinter spielt gelegentlich der Materialtransport durch Eis eine nicht zu unterschätzende Rolle. Bancroft glaubt, daß in einem einzigen Falle auf diese Weise über 3 Millionen Tonnen Sedimente umgelagert wurden. Dabei wird das Sediment mit dem Treibeis teilweise weiter hinaus in die Buchten geschafft, teilweise aber auch durch gestrandete Eisschollen bei hohen Fluten auf der hohen Marsch abgelagert. So kann es passieren, daß im Frühjahr die Marschflächen mit lauter kleinen Hügeln bedeckt sind, ähnlich Ameisenhaufen. Hind schätzte den Sedimenttransport eines einzigen kleinen Eisfeldes in der Avonmündung auf über 93 000 Tonnen. Er glaubt, daß die von den Eisschollen bewirkte Erosion in den Marschen größer sei als ihre Ablagerungen und führt vor allem die breiten Mündungstrichter der Flüsse auf diesen Eistransport zurück. In den verhältnismäßig kleinen Marschen der Northumberlandsraße sollen durch Eisstauungen am Außenrande der Marschen stellenweise 1—1,50 m hohe natürliche Deiche entstanden sein.“ C. Schott [1955]: Die Kanadischen Marschen, S. 18.

Küsteneis und fischereiliche Nutzung

Bei Wladiwostok wurden im Januar 1979 rund 3000 Personen vom Treibeis im Japanischen Meer gerettet, die sich in zwei Meeresbuchten auf dem Eis zum Fischen befanden. Völlig überraschend für die Jahreszeit setzte Tauwetter ein, und die meisten der Fischer wurden auf plötzlich abbrechenden Schollen ins offene Meer getrieben. Über 1000 Fischer konnten vom Eisbrecher „Ilja Muromez“ geborgen werden. Die durchgeführte Rettungsaktion dauerte 48 Stunden. Es wurden zwei Dutzend Schiffe, ein Flugzeug und ein Helikopter eingesetzt.

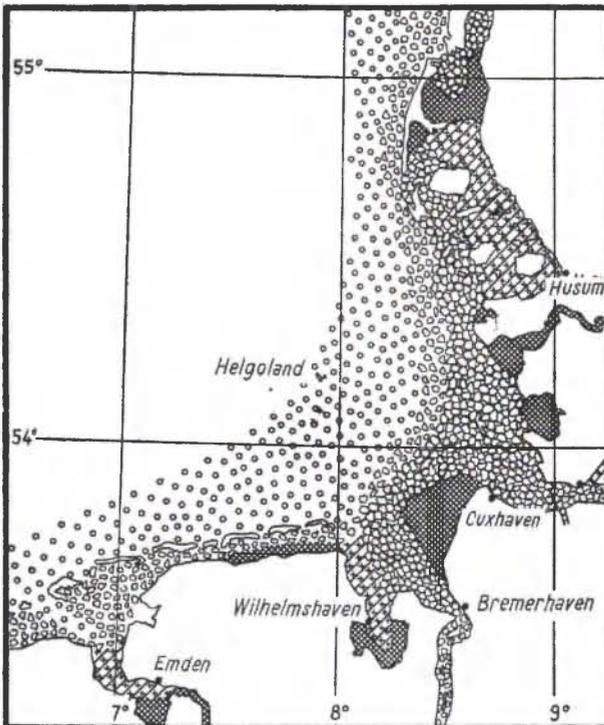
Eis und Eisbildung auf Watten



Abb. 8.17

Küstenfesteis und Grundeis an der Gezeitenküste der Nordsee auf dem Watt der Dithmarscher Bucht vor Meldorf bei Niedrig-W. Jüngerer Eis (weiß), von Schnee bedeckt, über älterem Eis (weiß-grau), z. T. aufgelöst, bröckelig, mit Bodenkontakt. Schichten jeweils etwa 0,25 m dick. Im Vordergrund Grundeis, flache Eisfladen, grau, am Grund angefroren.

Aufnahme: H. G. Gierloff-Emden [Febr. 1963]



In der östlichen Nordsee bildet sich im Winter nicht regelmäßig Eis. Scholleneis im Anschluß an zusammenhängendes Treibeis erreicht in 8 % aller Winter Helgoland. Der äußere Eisrand von zusammenhängendem Treibeis des Eiswinters 1955 entspricht im langjährigen Durchschnitt dem äußeren Eisrand von Scholleneis. Die Schifffahrtunterbrechung beträgt zwischen 0 und 18 Tagen, für Kleinschiffahrt um 30 Tage. Dithmarscher Bucht, Lage bei 54° N, 9° W, kreuzschraffiert

-  Lockeres Treibeis
-  Dichtes Treibeis
-  Zusammenhängendes Treibeis
-  Zusammengeschobenes Treibeis (Packeis)
-  Starkes Küstenfesteis

Abb. 8.18 Maximale Eislage im Winter 1955 an der Deutschen Nordsee-Küste (nach F. Nusser)

Vgl.: Die Eisverhältnisse in der östlichen Nordsee, DHI, Nr. 2006 [1973] in Nordsee-Handbuch, Östlicher Teil, S. 116 ff.

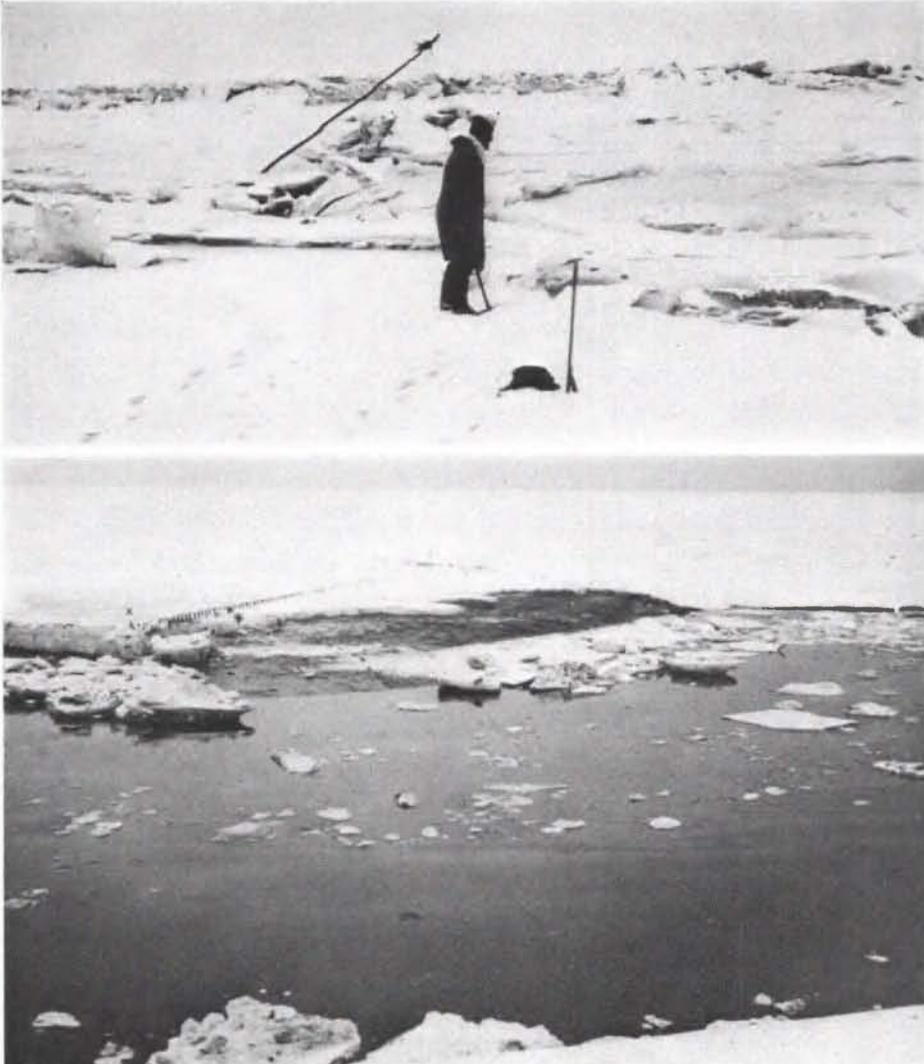


Abb. 8.19

Eisform und Eisdynamik auf dem Watt einer Gezeitenküste

Küsteneis an der Gezeitenküste der Nordsee auf dem Watt der Dithmarscher Bucht vor Meldorf bei Niedrigwasser. Lage vgl. Abb. 8.18.

oben:

Eisschubwälle, Eispressung, gestrandete Eisschollen, Seezeichen (Prigge) verdriftet durch Eis. Auf dem Photo F. Nusser, der damalige Leiter des Eisdienstes des DHI, vor der seeseitigen Grenze des Festeises.

unten:

Priel mit Wasser und Eisschollen, am Watt gestrandete Eisschollen mit Sedimentbrocken und eingefrorenen Pfählen der Lahnungen, auf dem Watt abgehobenes Festeis und aufliegendes Festeis, Wattoberfläche stellenweise wieder eisfrei.

Aufnahmen: H. G. Gierloff-Emden [Febr. 1963]



Abb. 8.20 Erosion und Sedimenttransport durch Eisschollen auf dem Watt an der Nordseeküste. Schollen von Festeis (im Bild oben) und aus den Gruppen (Gräben im Watt, im Bilde Mitte und unten), Küste südwestlich Duhnen; nahe Cuxhaven, Niedrigwasserstand. (Tidenhub 3,5 m). Küstenverhältnisse nach dem starken Winter 1962/63, 4. Tauwettertag nach zehnwöchigem Frostwetter mit Küstenfesteis. Aufnahme: [8. März 1963] 14.00 Uhr, Flughöhe 150 m, Maßstab etwa 1 : 1000, Luftbild Dr. Lüneburg, Bremerhaven. Freigeg.: Niedersächs. Min. f. Verkehr, 18. 4. 1963, Nr. 1355/69

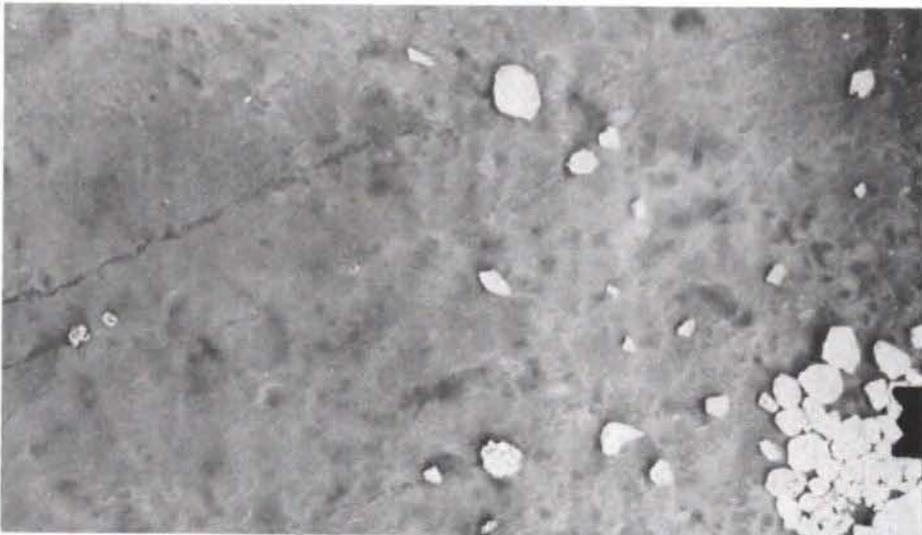


Abb. 8.21 Erosion und Sedimenttransport durch Eisschollen auf dem Watt an der Nordseeküste. Schleifspuren (Grooves) und Wannen (dunkle Streifen und Flecken) bei Niedrigwasserstand, Knechtsand, gestrandete Eisschollen, Größe 2 bis 7 m, NW (Tidenhub 3,5 m). Küsteneisverhältnisse nach dem starken Winter 1962/63, 4. Tauwettertag nach zehnwöchigem Frostwetter mit Küstenfesteis und Packeis. Aufnahme: Wie Abb. 8.20