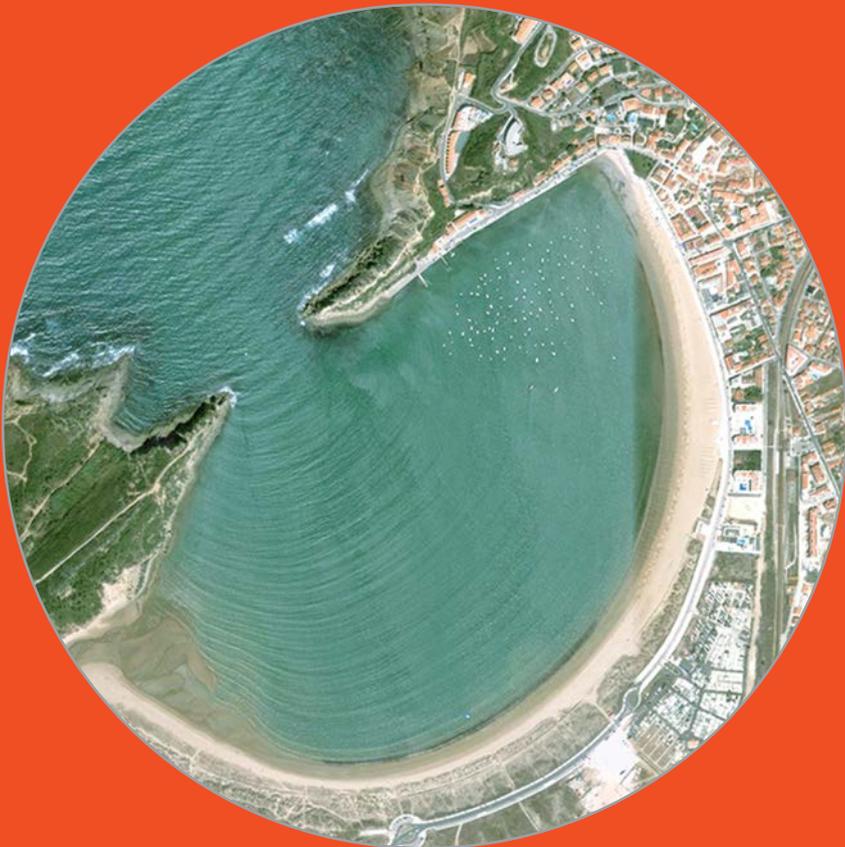


Dieter Kelletat

Physische Geographie der Meere und Küsten

Studienbücher der Geographie

3. vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage



Borntraeger

Studienbücher der Geographie

früher: Teubner Studienbücher der Geographie

www.borntraeger-cramer.de/publications/list/series/stbg

Kanwischer, Detlef (Hrsg.): **Geographiedidaktik**. Ein Arbeitsbuch zur Gestaltung des Geographieunterrichts. 2013. 265 Seiten, 39 Abbildungen, 4 Tabellen; ISBN 978-3-443-07149-3 € 29.90

Weischet, Wolfgang; Endlicher, Wilfried: **Einführung in die allgemeine Klimatologie**. 2012. 8. Aufl., 342 S., 109 Abb., 13 Tab., 1 Taf.; ISBN 978-3-443-07148-6 € 29.00

Pfeffer, Karl-Heinz: **Karst**. Entstehung – Phänomene – Nutzung. VI, 338 S., 283 Abb. 54 Tab.; ISBN 978-3-443-07147-9 € 29.90

Bahrenberg, Gerhard; Giese, Ernst; Mevenkamp, Nils; Nipper, Josef: **Statistische Methoden in der Geographie 1**. Uni- und bivariate Statistik. 2010. 5. vollst. neu bearb. Aufl., 282 S., 81 Abb., 69 Tab., 1 Tab. Anhang; ISBN 978-3-443-07146-2 € 25.80

Brücher, Wolfgang: **Energiegeographie**. Wechselwirkung zwischen Ressourcen, Raum und Politik. 2009. 280 Seiten, 41 Abbildungen; ISBN 978-3-443-07145-5 € 29.80

Bahrenberg, Gerhard; Giese, Ernst; Mevenkamp, Nils; Nipper, Josef: **Statistische Methoden in der Geographie 2**. Multivariate Statistik. 2008. 3. neu bearb. Aufl., 386 S., 112 Abb., 24 Tab.; ISBN 978-3-443-07144-8 € 29.00

Gather, Matthias; Kagermeier, Andreas; Lanzendorf, Martin: **Geographische Mobilitäts- und Verkehrsforschung**. 2008. 304 S., 112 Abb., 24 Tab.; ISBN 978-3-443-07143-1 € 29.00

Löffler, Ernst; Honecker, Ulrich; Stabel, Edith: **Geographie und Fernerkundung**. Eine Einführung in die geographische Interpretation von Luftbildern und modernen Fernerkundungsdaten. 2005. 3. Neubearb. und erweitert. Aufl., 287 S., 105 Abb., 9 Tab., 16 Farbtafeln; ISBN 978-3-443-07140-0 € 29.00

Düwel, Jörn; Gutschow, Niels: **Städtebau in Deutschland im 20. Jahrhundert**. Ideen Projekte Akteure. 2005. 2. unveränd. Aufl., 331 S., 138 Abb.; ISBN 978-3-443-07141-7 € 48.00

Bendix, Jörg: **Geländeklimatologie**. 2004. 282 Seiten, 127 Abb., 15 Tab.; ISBN 978-3-443-07139-4 € 28.00

Fortsetzung auf der 3. Umschlagseite



Gebrüder Borntraeger · Stuttgart

E-mail: mail@borntraeger-cramer.de <http://www.borntraeger-cramer.de>

Studienbücher der Geographie

früher: Teubner Studienbücher der Geographie

www.borntraeger-cramer.de/publications/list/series/stbg

Scholz, F.: **Geographische Entwicklungsforschung**. Methoden und Theorien. 2004. 297 S., 66 Abb., 5 Tab.; ISBN 978-3-443-07138-7 € 29.00

Heinritz, G.; Klein, K. E.; Popp, M.: **Geographische Handelsforschung**. 2003. 257 S., 54 Abb., 16 Tab., 7 Photos; ISBN 978-3-443-07137-0 € 28.00

Kuls, Wolfgang; Kemper, Franz-Josef: **Bevölkerungsgeographie**. Eine Einführung. 2002. Unveränd. Nachdruck d. 3. Neubearb. Aufl., 304 S., 130 Abb., 33 Tab.; ISBN 978-3-443-07112-7 € 24.00

Kraas, Frauke; Stadelbauer, Jörg: **Fit ins Geographie-Examen**. Hilfen für Abschlussarbeit, Klausur und mündliche Prüfung. 2000. 152 S.; ISBN 978-3-443-07127-1 € 12.00

Weischet, Wolfgang; Endlicher, Wilfried: **Regionale Klimatologie Teil 2**. Die Alte Welt: Europa Afrika Asien. 2000. 625 S., 118 Abb., 24 Tab. 9 Karten; ISBN 978-3-443-07119-6 € 66.00

Voppel, Götz: **Wirtschaftsgeographie**. Räumliche Ordnung der Weltwirtschaft unter marktwirtschaftlichen Bedingungen. 1999. 267 S., 48 Abb., 25 Tab.; ISBN 978-3-443-07129-5 € 26.00

Blümel, Wolf Dieter: **Physische Geographie der Polargebiete**. 1999. 239 S., 100 Abb.; ISBN 978-3-443-07128-8 € 25.00

Lichtenberger, Elisabeth: **Stadtgeographie**. 1: Begriffe, Konzepte, Modelle, Prozesse. 1998. 3. Aufl., 366 S., 132 Abb., 14 Tab.; ISBN 978-3-443-07113-4 € 26.00

Hagel, Jürgen: **Geographische Interpretation topographischer Karten**. 1998. 144 S., 33 Abb., 2 Beil.; ISBN 978-3-443-07130-1 € 25.00

Schäfer, Alois: **Biogeographie der Binnengewässer**. Eine Einführung in die biogeographische Areal- und Raumanalyse in limnischen Ökosystemen. 1997. 258 S., 68 Abb.; ISBN 978-3-443-07132-5 € 19.80

Weischet, Wolfgang: **Regionale Klimatologie**. Teil 1. Die Neue Welt: Amerika Neuseeland Australien. 1996. 468 S., 45 Abb., 38 Tab., 7 Karten; ISBN 978-3-443-07107-3 € 39.80



Gebrüder Borntraeger · Stuttgart

E-mail: mail@borntraeger-cramer.de <http://www.borntraeger-cramer.de>

Studienbücher der
Geographie

D. Kelletat

Physische Geographie der
Meere und Küsten

3. neu bearb. u. erw. Auflage



Studienbücher der

Geographie

(Früher: Teubner Studienbücher der Geographie)

Herausgegeben von

Prof. Dr. Roland Baumhauer, Würzburg

Prof. Dr. Hans Gebhardt, Heidelberg

Prof. Dr. Jörg Bendix, Marburg

Prof. Dr. Paul Reuber, Münster

Die Studienbücher der Geographie behandeln wichtige Teilgebiete, Probleme und Methoden des Faches, insbesondere der Allgemeinen Geographie. Über Teildisziplinen hinweg greifende Fragestellungen sollen die vielseitigen Verknüpfungen der Problemkreise sichtbar machen. Je nach der Thematik oder dem Forschungsstand werden einige Sachgebiete in theoretischer Analyse oder in weltweiten Übersichten, andere hingegen stärker aus regionaler Sicht behandelt. Den Herausgebern liegt besonders daran, Problemstellungen und Denkansätze deutlich werden zu lassen. Großer Wert wird deshalb auf didaktische Verarbeitung sowie klare und verständliche Darstellung gelegt. Die Reihe dient den Studierenden zum ergänzenden Eigenstudium, den Lehrern des Faches zur Fortbildung und den an Einzelthemen interessierten Angehörigen anderer Fächer zur Einführung in Teilgebiete der Geographie.

Physische Geographie der Meere und Küsten

Eine Einführung

3., neu bearbeitete und erweiterte Auflage

von

Prof. Dr. rer. nat. Dieter Kelletat

Mit 234 Abbildungen und 22 Tabellen



Gebr. Borntraeger
Stuttgart 2013

Kelletat, Dieter: Physische Geographie der Meere und Küsten, 3. Aufl. (Studienbücher der Geographie)

Prof. Dr. rer. nat. Dieter Kelletat

Geboren 1941 in Altena/Westfalen, 1962–1968 Studium der Geographie, Geologie, Ethnologie und Geschichte in Göttingen und Innsbruck. Promotion 1968 und Dipl.-Geograph 1969 in Göttingen, 1968–1969 Wis. Ass am Geographischen Institut der Universität Göttingen, 1969–1974 am Geographischen Institut der TU Berlin, dort 1973 Habilitation. 1974–1977 Universitätsdozent an der TU Braunschweig, ab 1976 dort auch apl. Professor. 1977–1981 Wiss. Rat und Professor an der TU Hannover, 1981 Lehrstuhl für Physio-Geographie an der Universität-GH Essen.

Adresse des Autors:

Prof. Dr. D. Kelletat, Institut für Geographie, Physiogeographie, Universität Duisburg-Essen, Universitätsstrasse 15, 45117 Essen, Germany

Foto auf dem Umschlag:

Abb. 118 (aus diesem Band). Der breitere Küstenvorsprung im Süden dieser Bucht im Norden Spaniens führt hier zu einer stärkeren Wellenrefraktion, so dass der Strand innerhalb der Bucht ein wenig unsymmetrisch angelegt und nach Süden verschoben ist (Google Earth); mit freundlicher Genehmigung von DigitalGlobe, 2010, www.digitalglobe.com.

3. neu bearb. u. erweiterte Auflage 2013

2. neu bearb. u. erweiterte Auflage 1999 (B.G. Teubner, Leipzig)

1. Auflage 1988 (B.G. Teubner, Leipzig)

ISBN ebook (pdf) 978-3-443-01141-3

ISBN 978-3-443-07150-9

ISSN 1618-9175

Information on this title: www.borntraeger-cramer.de/9783443071509

© 2013 Gebr. Borntraeger, Stuttgart, Germany

© Gedruckt auf alterungsbeständigem Papier nach ISO 9706-1994

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt besonders für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Verlag: Gebr. Borntraeger, Johannesstr. 3A, 70176 Stuttgart, Germany

www.borntraeger-cramer.de

mail@borntraeger-cramer.de

Satz: Satzpunkt Ursula Ewert GmbH, Bayreuth

Printed in Germany by Gottlob Hartmann GmbH, Stuttgart

Vorwort zur 3. Auflage

Obwohl die Meere rund 71 % der Erdoberfläche bedecken, hat sich die Geographie im physischen wie im kulturgeographischen Bereich überwiegend zu einer Wissenschaft von der festen Erdoberfläche entwickelt. Die Meere und Ozeane wurden weit weniger berücksichtigt, was natürlich auch mit ihrer schlechteren Zugänglichkeit zusammenhängt, während die Küsten breiteres Interesse erfuhren. Zusammenfassende Darstellungen sind jedoch – gerade im deutschen Sprachraum – selten geblieben, vor allem auch solche, die eine breitere Leserschicht ansprechen könnten.

Daher werden in diesem Band die wesentlichen Fakten aus dem Gebiet der „Physischen Geographie der Meere und Küsten“ in möglichst verständlicher, allerdings sehr komprimierter Form dargestellt und mit Hilfe von Tabellen und Abbildungen verdeutlicht. Auf die Ausbreitung eigener Standpunkte ist weitgehend verzichtet worden, um die Darstellung nicht mit noch in der Diskussion befindlichen Sachverhalten zu überfrachten.

Das unumgängliche vertiefte Studium soll durch die Nennung einer größeren Zahl von Quellen erleichtert werden. Allerdings stammen die meisten nicht aus deutscher Feder.

Natürlich muss bei der Aufbereitung einer so gewaltigen Stofffülle und der Behandlung eines so großen Raumes mit einer extremen Zahl beteiligter Prozesse vielfach eine Vereinfachung und Stoffauswahl in Kauf genommen werden, um den Charakter einer Einführung, die auch noch für Nichtfachleute verständlich bleiben soll, zu gewährleisten.

Texte und Lehrbücher als Einführung in ein Teilgebiet der Geowissenschaften sind eigentlich kein optimales Instrument, um Sachverhalte zu vermitteln. Dieses geschieht am besten am Objekt selbst. Das ist zugegebenermaßen für die Meere schwierig und eher für die Küsten möglich, jedoch nicht, wenn es sich um eine allgemeine Diskussion in weltweiter Sicht handelt. Als eine Kompensation dieses Mangels wurden daher möglichst viele Abbildungen in den Text eingearbeitet, um einmal große Übersichten (z. B. in Weltkarten) zu vermitteln, oder wenigstens eine Visualisierung der verschiedenen Gegenstände zu versuchen. Der Verfasser hofft, dadurch einen leichteren Zugang zur Geographie der Meere und Küsten zu erreichen.

Die Gewichtung auch dieser Neuauflage folgt dem ursprünglichen Ziel: die Meere, ihre Hydrologie, Geologie und Biologie werden weniger intensiv dargestellt, weil es dazu eine ganze Reihe gut aufbereiteter und knapper, verständlicher Publikationen für alle Leserkreise gibt. Der zweite Teil über die Küsten wurde dagegen deutlich ausgeweitet, um gerade auch dem hier gesteigerten deutschen Forschungsanteil

Rechnung zu tragen. Außerdem besteht auf diesem Gebiet nach wie vor der größte Bedarf an knappen Zusammenfassungen.

Im Verlaufe der Erstellung dieses Lehrbuches seit der ersten Auflage vor fast 25 Jahren hat der Verfasser vielfältige Anregungen erhalten, in erster Linie durch den gemeinsamen Entwurf mit D. Uthoff, später vor allem durch vielfältige Diskussionen im Rahmen von Feldprojekten zu verschiedenen Schwerpunkt-Themen durch H. Brückner, A. Scheffers, A. Vött und viele ihrer sehr kompetenten Mitstreiter, aber auch durch korrigierende Hinweise aus dem Kreise der Leserschaft. Dies betrifft auch Verweise auf wichtige Quellen und neue Methoden. Ein Großteil der Handzeichnungen und Graphiken geht auf Gudrun Reichert zurück. Viele Recherchen, Ideen zur Optimierung und technischen Beistand lieferten Anne Hager, Frank Schmidt-Kelletat und Timo Willershäuser. Nicht alle, die ihren Anteil am Inhalt dieses Bandes haben, können hier namentlich genannt werden, der Verfasser behält sie aber in dankbarer Erinnerung.

Der Verfasser dankt auch den Herausgebern der *Studienbücher der Geographie* sowie dem Verlag für ihre Ermutigung zur Erstellung der dritten Auflage.

Mülheim, im Januar 2013

Inhaltsverzeichnis

1	Geographie der Meere und Küsten	9
1.1	Wissenschaftsgeschichtlicher Überblick	9
2	Gliederung, Gestaltung und Potential der Meeresräume	11
2.1	Einführung in die physische Geographie der Meeresräume	11
2.2	Gliederung der Meeresräume	13
2.3	Topographie und Morphologie des Meeresbodens	17
2.3.1	Die Schelfregionen	17
2.3.2	Kontinentalabhang und Kontinentalfußregion	21
2.3.3	Submarine Canyons	24
2.3.4	Mittelozeanische Rücken	27
2.3.5	Einzelerhebungen im Tiefseebereich (Abyssal hills, Seamounts und Guyots)	30
2.3.6	Tiefseebecken, -tröge, -schwellen und -fächer	33
2.3.7	Tiefseegräben	33
2.4	Die Sedimente des Meeresbodens	37
2.5	Eigenschaften des Meerwassers	43
2.5.1	Die physikalischen Eigenschaften des Meerwassers	44
2.5.2	Die chemischen Eigenschaften des Meerwassers	47
2.6	Das Eis der Meere	52
2.7	Wichtige Bewegungsvorgänge im Meer	57
2.7.1	Wellen	57
2.7.2	Gezeiten	65
2.7.3	Strömungen	69
2.8	Einige Aspekte des Stoff- und Energiehaushaltes	75
2.9	Meeresspiegelschwankungen	81
3	Küsten und Küstenformung	89
3.1	Definition „Küsten“ – Lage und Ausdehnung der Küsten	89
3.2	Einführung in die physische Geographie der Küstenräume	91
3.3	Die an der Küstenformung beteiligten Prozesse	98
3.3.1	Meeresspiegelschwankungen (vgl. auch Kap. 2.9)	98
3.3.2	Zerstörungsprozesse	99
3.3.3	Aufbauvorgänge	102
3.4	Die natürlichen Küstenformen	104
3.4.1	Endogen bestimmte und Vulkanküsten	104
3.4.2	Ingressionsküsten	106
3.4.2.1	Ingressionsformen glazial gestalteter Küstenabschnitte	107
3.4.2.2	Ingressionsküsten überwiegend fluvialer Genese	109
3.4.2.3	Andere Ingressionsformen	113

3.4.3	Abtragungsformen und -vorgänge	117
3.4.3.1	Abtragung durch (mechanische) Abrasion	117
3.4.3.2	Abtragung durch Schmelzwirkung	123
3.4.3.3	Abtragung durch Eiseinwirkung	125
3.4.3.4	Abtragung durch chemische und biogene Vorgänge	127
3.4.4	Aufbauformen und Aufbauvorgänge	137
3.4.4.1	Aufbauformen durch fluviale Vorgänge: Schwemmland- ebenen und Deltas	138
3.4.4.2	Akkumulationsformen durch Brandungswirkung: Strände, Strandwälle, Haken und Tombolos	144
3.4.4.3	Akkumulationsformen durch Wind: Küstendünen, Nehrungen und Nehrungsinseln	159
3.4.4.4	Akkumulation durch Gezeitenwirkung: die Watten der mittleren und hohen Breiten	166
3.4.4.5	Aufbauformen durch Eiswirkung	172
3.4.4.6	Aufbauformen mit sekundärer Verfestigung (Äolianit und Beachrock)	173
3.4.4.7	Aufbauformen und -prozesse mit Beteiligung von Organismen	176
4	Relikte quartärer Meeresspiegelstände	199
4.1	Pleistozäne Meeresterrassen und -ablagerungen	199
4.2	Holozäne Meeresspiegelschwankungen	205
5	Anthropogene Eingriffe in den Formenschatz und das Prozessgefüge und Gefährdungspotentiale der Küsten	223
6	Natürliches Gefährdungspotential der Küsten	234
7	Systematik und Klassifikation der natürlichen Küstenformen	248
8	Das Problem der Zonalität von Küstenformen und Küstenformungs- prozessen	250
9	Einige offene Fragen der physischen Meeres- und Küstenforschung	255
	Literaturverzeichnis	258
	Sachregister	286

1 Geographie der Meere und Küsten

1.1 Wissenschaftsgeschichtlicher Überblick

Die Besonderheit des Planeten Erde ist nicht nur sein Wasserreichtum, sondern auch die komplizierte Gestaltung von Meeren und Festlandsflächen und ihre starke wechselseitige Durchdringung. Im Verlaufe der Menschheitsgeschichte hat zunehmend eine Orientierung auf die Küsten stattgefunden und eine Konzentration der Siedlungen am Grenzsäum von Land und Meer eingeleitet.

In der Antike besaß man begründete Vorstellungen vom Verlauf weiter Küstenstrecken, von Gezeiten und Windsystemen. Seetransport und Seehandel waren in einzelnen Rand- und Nebenmeeren voll ausgebildet.

Die ersten Lotungen außerhalb der Schelfe in Wassertiefen bis zu mehreren 1000 m erfolgten im 18. Jahrhundert, und erst im 19. Jahrhundert begann sich die Meeresforschung stürmisch zu entwickeln und als eigenständige Wissenschaft zu etablieren. Im deutschen Sprachraum geschah das unter maßgeblicher Beteiligung von Geographen und weitgehend im Rahmen der Geographie.

In der Folge von Darwins Evolutionslehre (zuerst erschienen 1859) ergab sich auch die Frage nach der Lebewelt der Ozeane, insbesondere in den tieferen Schichten. Die Meeresbiologie wurde dadurch ebenso gefördert wie durch die wenige Jahre vorher erfolgte Entdeckung der frei im Wasser schwebenden und schwimmenden Kleinstorganismen. Die erste wirklich meereskundliche Expedition des britischen Forschungsschiffes „Challenger“, das zwischen 1872 und 1876 alle Weltmeere bereiste, hat grundlegende Erkenntnisse über die Organismen der Tiefsee und des Meeresbodens erbracht und die Existenz einer auch in größeren Tiefen frei im Wasser schwebenden Tierwelt nachgewiesen.

Inzwischen hat sich eine sehr große Zahl weiterer meereskundlicher Unternehmungen zahlreicher Nationen angeschlossen, die entsprechend ausgerüstete Forschungsschiffe unterhalten.

Um 1930 wurden die führenden ozeanographischen Institute der USA wie „Scripps Institution“ in Kalifornien und „Woods Hole Institution of Oceanography“ in Massachusetts gegründet. Der heutige Anteil der Satellitentechnik an der Sammlung ozeanographischer Daten ist nicht hoch genug einzuschätzen, und selbstverständlich wäre ohne die Entwicklung leistungsfähiger Computer die Nutzung der riesigen Datenfülle – zunehmend auch aus dem freien Wasserbereich und allen Tiefenregionen – gar nicht denkbar. Naturkatastrophen mit extremer Folgewirkung für die Küstenräume wie Super-Hurricanes vom Typ „Katrina“ (2005) oder die Mega-Tsunamis im Indischen Ozean 2004 sowie um Japan 2011 haben den Druck auf die Entwicklung leistungsfähiger Fernerkundungs- und Vorsorgeprogramme stark erhöht. Ein neues Element zur Vermittlung von Wissen, aber auch zur Aufrechterhaltung von

Neugier oder deren Förderung ist aber dem privaten Zugang zu den meisten Daten zu verdanken, so über das Internet, über Satellitenbilder mit hoher Auflösung und weltweiten Ansichten (u. a. „Google Earth“) gerade für die Küsten und schließlich auch dadurch, dass sich viele staatliche Stellen immer mehr als Vermittler von Wissen verstehen und ihre Daten problemlos zugänglich machen. Die wachsende Fülle neuer Erkenntnisse, immer schneller bearbeitet und verbreitet durch die elektronischen Medien führt leider oft zu der Auffassung, man könne auf die Benennung von Quellen vor 2000 AD verzichten, da diese keine wesentlichen Inhalte und Grundlagen enthalten. Als Geowissenschaftler wissen wir aber, dass man die Gegenwart und Zukunft meist aus der Vergangenheit erklären kann. So sind unsere Feldmethoden angelegt und genauso sollten wir mit den Erkenntnissen unserer Vorläufer verfahren: wir stehen als Wissenschaftler auf deren Schultern! Daher werden in diesem Buch ältere Quellen genauso berücksichtigt wie die neuesten, und die Leser können sich so ein Urteil erarbeiten, inwieweit heutiger rasanter Fortschritt auf höher entwickelter Intelligenz der Beteiligten beruht oder doch eher eine Folge neuer Arbeits- und Vermittlungstechnologien ist.

Meeresforschung ist heute ein multidisziplinär bearbeitetes Feld, in dem physikalische, chemische, geophysikalische, geologische, meteorologische, biologische und geographische Forschung, aber auch rechts- und wirtschaftswissenschaftliche sowie technische Disziplinen zusammentreffen. Zu einer Gesamtdarstellung der Meere aus geographischer Sicht kam es aber bis in die 70er Jahre nicht mehr (Rosenkranz 1977, Gierloff-Emden 1980).

In allerjüngster Zeit hat die Geographie unter dem Aspekt der Fernerkundung, wachsender Nutzungsansprüche und fortschreitender Rationalisierung verstärktes Interesse an Meeren und Küsten gezeigt. Dabei spielen Fragen der Übernutzung, der Klimaveränderung oder der Ausbeutung neu zugänglicher Meeresteile (z. B. in der Arktis) ebenfalls eine Rolle. Aber immer noch können die Meere als die letzten großen und weitgehend unerforschten Naturräume der Erde gelten, deren Aneignung und zunehmende Inwertsetzung sich vor unseren Augen abspielt.

Die Geographie der Meere und Küsten unterscheidet sich vor allem durch die Betonung der Raummuster von den übrigen marinen Wissenschaften. Die Ozeanographie oder (physische) Meereskunde ist in ihrem allgemeinen Zweig eine analytische Grundlagenwissenschaft, die sich mit den physikalischen und chemischen Eigenschaften des Meerwassers auseinandersetzt, die Prozesse der Energieumsetzung und die sich daraus ergebenden Bewegungserscheinungen wie Strömungen, Wellen, Gezeiten analysiert und die Morphologie des Meeresbodens einbezieht (Dietrich 1959, Dietrich & Kalle 1965, sowie die neueren Übersichten bei Bijma & Burhog 2010, Conkright et al. 2001, Garrison 2005, Kelletat 2006a, NGDC 2007, Ott 1996, Pinet 2009, Pirazzoli 1991, Rahmsdorf 2002, Schlitzer 2008, Schneider 2010, Steele et al. 2001, WBGU 2006, Sverdrup et al. 2006, oder Visbeck 2010). Meereskunde im weiteren Sinne schließt auch Meeresgeologie und Meeresbiologie mit ein.

2 Gliederung, Gestaltung und Potential der Meeresräume

2.1 Einführung in die physische Geographie der Meeresräume

Bei der gerafften Darstellung der physischen Geographie der Meeresgebiete sollen diejenigen Erscheinungen im Vordergrund der Behandlung stehen, die entweder großen Teilen der festen Erdoberfläche ihr Gepräge geben, wie die unseren Blicken verborgenen Ozeanböden mit ihren Großformen, deren Entstehung und die dortigen Sedimente, oder die als Oberflächenphänomene des Meeres selbst in Erscheinung treten. Zu den letzten gehören z. B. die Verteilung von Temperatur, Salzgehalt, Verbreitung von Meereis oder Meeresströmungen und Wellen. Die chemischen und physikalischen, optischen und akustischen Eigenschaften des Meerwassers sollen nur insoweit behandelt werden, als es zum Verständnis grundlegender Vorgänge (etwa der Zirkulation oder der Primärproduktion) notwendig ist, ohne dass hier Vollständigkeit angestrebt wird. Einen geradezu enzyklopädischen Überblick bietet Fairbridge (1966). Besonders anschaulich werden Aspekte der Ozeanographie im Atlas von Dietrich & Ulrich (1968) vermittelt. Die vielfältigen Ursachen der Meeresspiegelschwankungen sind deshalb zu besprechen, weil ihre Kenntnis für die später zu behandelnden Küstenformen unerlässlich ist und weil von ihnen z. T. ein unmittelbarer Einfluss auf den am Rande der Kontinente siedelnden Menschen ausgeht. Schließlich sollen diese einführenden Kapitel zur allgemeinen Ozeanographie aber auch dazu dienen, mit einer Reihe von Fachtermini vertraut zu machen, ohne die ein Verständnis des Schrifttums, insbesondere des nicht deutschsprachigen, kaum möglich ist. Auf Darlegungen zur speziellen (= regionalen) Meereskunde muss hier verzichtet werden.

Eine erste Vorstellung von der Bedeutung der Ozeane und Meeresböden auf der gesamten Erde vermittelt ein Blick auf die statistische Verteilung von Höhen und Tiefen des Reliefs, bezogen auf den Meeresspiegel, in der sogenannten „hypsographischen Kurve“ der Erdoberfläche (Abb. 1). Man erkennt auf den ersten Blick, welche bescheidenen Raum nach der Fläche (29,5 %) und dem Volumen über dem Meeresspiegel die Festländer der Erde einnehmen. Hochgebirge sind verschwindend gering vertreten, Mittelgebirge und Tiefebene dagegen zunehmend mehr. Die mittlere Höhe der Kontinente beträgt nur wenig mehr als 800 m.

Ganz anders ist die Verteilung der Meerestiefen. Wir werden später sehen (Kap. 2.2), dass darin schon einige der Größtformen und strukturellen Besonderheiten des irdischen Reliefs zum Ausdruck kommen. 70,5 % der Erdoberfläche liegen unter dem Meeresspiegel verborgen. Davon entfällt der prozentual größte Teil auf die erheblichen Wassertiefen von ca. –3000 bis –6000 m mit ausdruckslosen Ebenheiten und aufgesetzten Erhebungen. Einen weiteren beträchtlichen Teil mit insgesamt um 10 % der Erdoberfläche nehmen die Flachwasserbereiche oder Schelfregionen bis

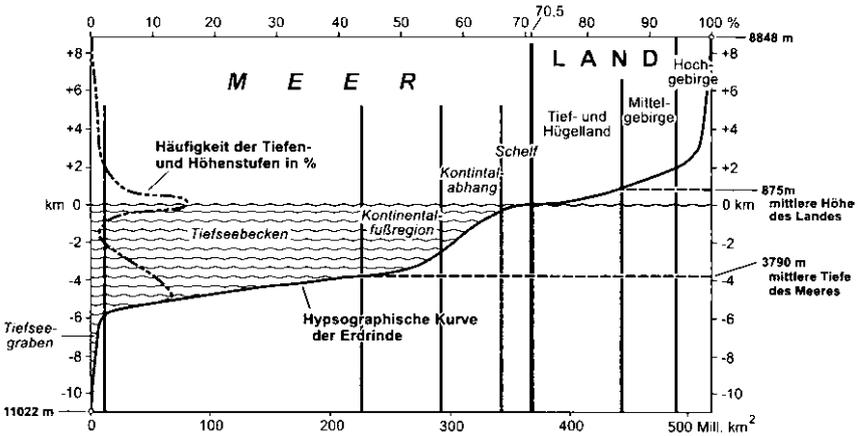


Abb. 1 Hypsographische Kurve der Erdoberfläche (nach verschiedenen Quellen zusammengestellt).

–200 m Wassertiefe ein, während die Gebiete zwischen Schelfkante und Tiefseebecken, die sogenannten Kontinentalabhänge, schmaler entwickelt sind.

Ähnlich wie die Hochgebirge der Festländer, so sind auch die extremen Meerestiefen der Fläche nach nur gering verbreitet. Die mittlere Tiefe der Weltmeere beträgt fast 3800 m, und wenn man alle den Meeresspiegel überragenden Reliefeile in die Ozeantiefen versenken würde, so wäre die Erde mit ca. 2500 m Ozeanwasser bedeckt.

Insbesondere bezogen auf die Lebewelt in den Ozeanen sind eine Reihe von Begriffen gebräuchlich, die graphisch in der Abb. 2 zusammengefasst sind: So nennt man die Küstenbereiche auch die „litorale“ Region, darin den Abschnitt mit nur gelegentlicher Salzwasserbenetzung das „Supralitoral“, denjenigen zwischen den Gezeitenständen, der regelmäßig bedeckt und entblößt ist, das „Eulitoral“ und schließlich den sich nach unten anschließenden Abschnitt ständiger Wasserbedeckung, in dem aber z. B. noch die Brandungswellen wirksam werden, das „Sublitoral“.

Der sich von der Küste bis in die größten Meerestiefen erstreckende Bereich des Meeresbodens wird mit seinen Lebewesen das „Benthos“ genannt, während die Bereiche des freien Wassers je nach der Tiefe unterschiedliche Bezeichnungen tragen: die oberste, noch durchlichtete Zone mit großem Sauerstoffgehalt ist die „photische“ Zone, es folgt ein Abschnitt mit mäßigen Wassertiefen, der „neritische“, übergehend zu den tieferen Freiwasserregionen des „hemipelagischen“ und „pelagischen“ sowie zum „Hadal“, dem völlig lichtlosen und sehr kalten Bereich der größten Ozeantiefen.

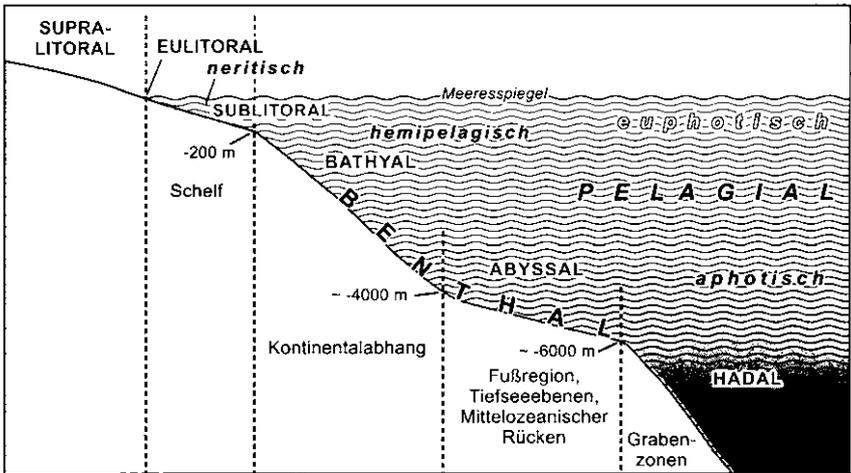


Abb. 2 Benennung der Tiefenbereiche des Meeresbodens und des freien Wassers (verändert n. Seibold 1974).

2.2 Gliederung der Meeresräume

Die Erde ist gegenwärtig zu über 70 % mit Wasser bedeckt, welches sich in drei große Ozeane Atlantik, Pazifik und Indischer Ozean aufteilen lässt (Abb. 3 und 5).

Auf der Erdhalbkugel des Globus mit den ausgedehnten Landmassen der nordamerikanischen und eurasiatischen Kontinente beträgt der Landanteil 39 %, der der

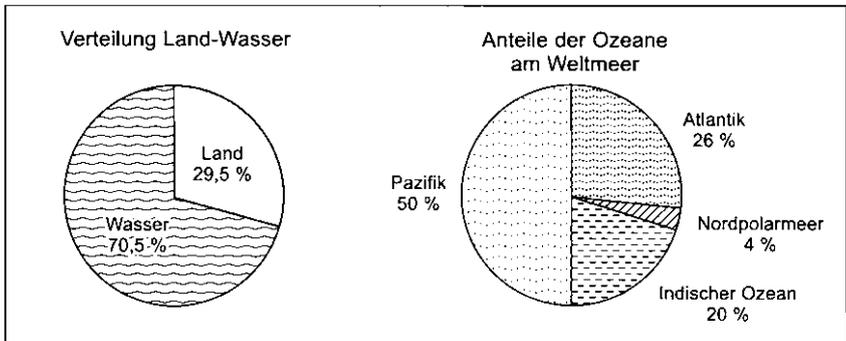


Abb. 3 Prozentuale Verteilung von Land und Wasser auf der Erde und der relative Anteil der Ozeane am Weltmeer.

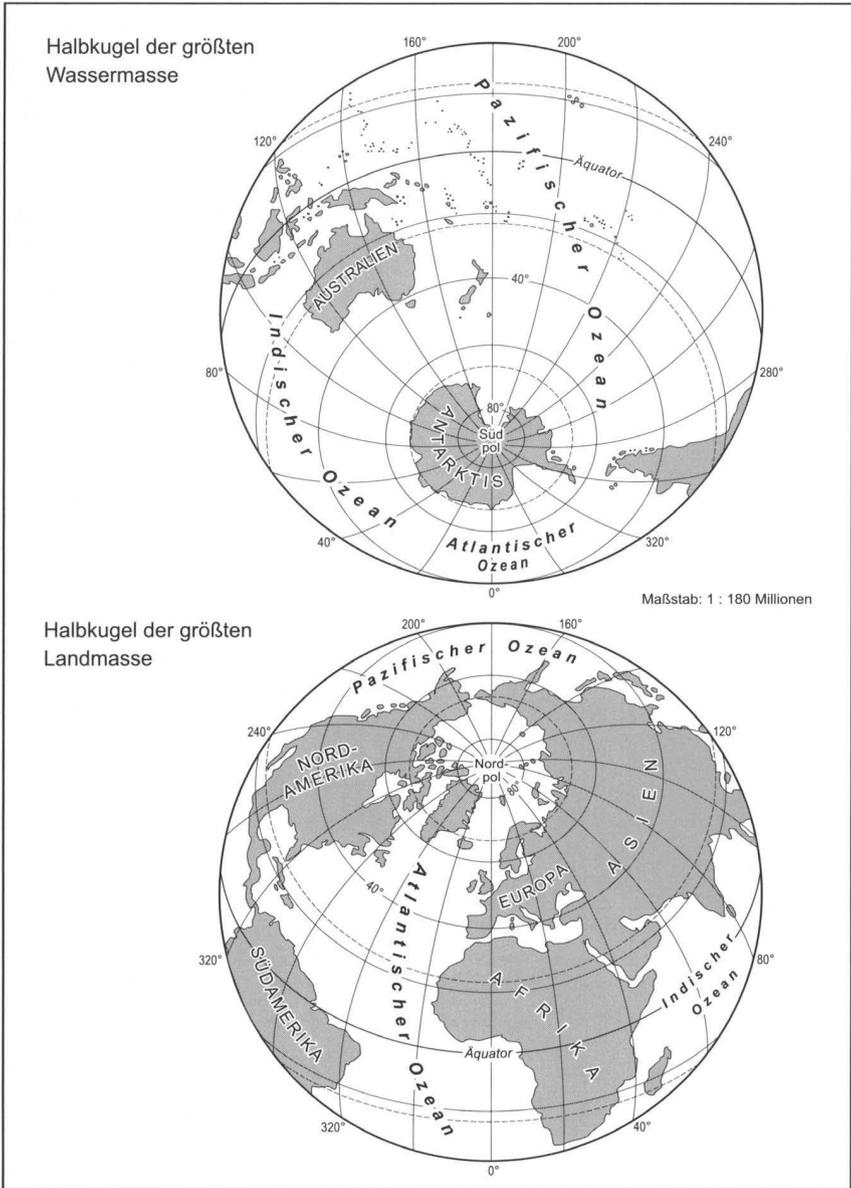


Abb. 4 Die Halbkugeln der größten Landmasse und der größten Wassermassen auf der Erde.

Meeresbedeckung 61 %, was ca. 155 Mio. km² entspricht. Auf der Südhalbkugel liegen nur die Spitzen der Kontinente Südamerika und Afrika sowie die Kleinkontinente Australien und Antarktika. Das ergibt eine Landbedeckung von nur 19 % und eine Wasserfläche von 81 % = 207 Mio. km².

Sucht man auf der Erde nach der Halbkugel mit der größten Landmasse, so liegt deren Pol etwa in der Biskaya (Abb. 4). Aber auch auf dieser Halbkugel nehmen die Meere noch einen Flächenanteil von 53,2 % ein. Auf der sog. Wasserhalbkugel mit Pollage bei Neuseeland (Abb. 4) beträgt der Anteil der Meeresflächen sogar 88,4 %.

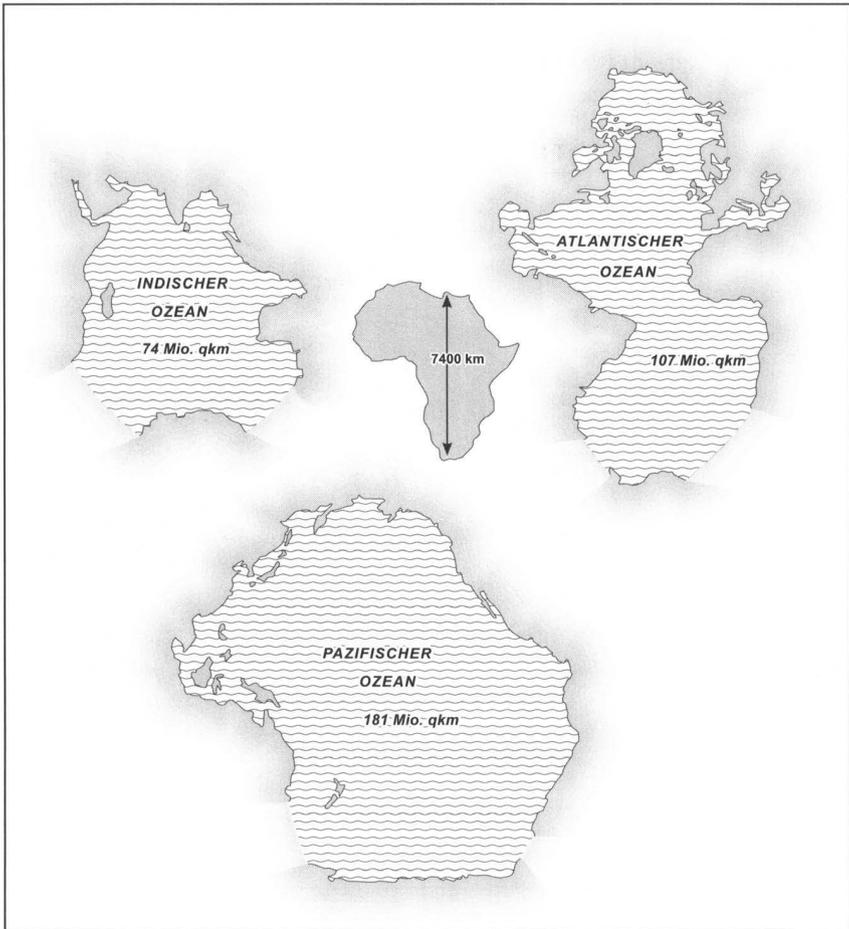


Abb. 5 Die Ozeane im Größenvergleich.

Tab. 1 Einige Kennzahlen für die einzelnen Ozeane (nach Menard & Smith 1966 u. a.).

Ozean	Fläche in Mio km ²	max. Tiefe in m	mittl. Tiefe in m	festl. Ein- zugs- gebiete Mio. km ²	Inhalt in 103 km ³	mittl. Salz- gehalt in %
Pazifik	181	11022	3940	19	714	34,36
Atlantik inkl. Nordpolarmeer, Mittel- meer und Schwarzes Meer	107	9219	3310	69	351	34,90
Indischer Ozean	74	7455	3 840	13	285	34,76
Weltmeer insgesamt	362	11022	3 730	101	1350	34,57

Einen Vergleich der relativen Größe und der zum Teil komplizierten Umrissgestalt aller Ozeane mit dem afrikanischen Kontinent als Maßstabsvergleich bietet die Abb. 5.

Die in Tab. 1 enthaltenen Kennzahlen für die großen Ozeane der Erde zeigen teilweise große Unterschiede (etwa der Fläche oder dem Wasservolumen nach), bei der mittleren Tiefe und dem Salzgehalt herrscht dagegen größere Übereinstimmung. Besonders bemerkenswert sind die Differenzen zwischen der Ozeanfläche und der Größe der festländischen Einzugsgebiete. Ein Blick auf eine Erdkarte zeigt klar die Ursachen dafür: der Atlantische Ozean (mit Nebenmeeren) ist meist von stark gegliederten Flachländern umgeben, in die sich die großen Stromsysteme von Mississippi, St. Lorenz, Orinoco, Amazonas, Paraná, Kongo, Niger, Nil, Lena, Ob, Jenissei u. a. ergießen. Der Indische Ozean wird teilweise von nur kleinen Landmassen (Hinterindien und Australien) umgeben, teilweise liegen große Bereiche der angrenzenden Festländer auch im Trockengürtel der Erde, der weithin keinen Abfluss nach außen hin aufweist. Von den großen Strömen der Erde entwässern lediglich der Sambesi, Indus und Ganges-Brahmaputra zum Indischen Ozean.

Besonders krass ist das Missverhältnis von Ozeanfläche zu festländischem Einzugsgebiet jedoch beim Pazifik. Hier macht sich bemerkbar, dass dieser Ozean fast vollständig von hohen Kettengebirgen umgeben ist (ostaustralische Alpen und Gebirge Hinterindiens, Chinas und Ostsibiriens, besonders aber das System Rocky Mountains – Anden). An der Ostseite dieses Riesenozeans sind es nur die mittelgroßen Flüsse Frazer, Columbia oder Colorado, an der Westseite immerhin außer Amur die großen Ströme Chinas (Hwangho, Jangtsekiang) und Hinterindiens (Menam, Mekong, Irrawaddy), während vom australischen Kontinent keine nennenswerten Wassermassen abgegeben werden.

2.3 Topographie und Morphologie des Meeresbodens

Einen groben Überblick über die prozentualen Anteile der verschiedenen Bereiche der Ozeanböden gibt Tab. 2. Sie zeigt das starke Vorherrschen der Flachformen (Schelfe, Tiefsee-Ebenen), während die steileren submarinen Relieftteile zurücktreten. Die Gruppe der submarinen Erhebungen – meist auf den Tiefsee-Ebenen oder zwischen ihnen gelegen – ist recht heterogen und nimmt in der Addition aller Teile ebenfalls großen Raum ein. Besondere Aussagen gewinnt die letzte Zeile der Tabelle, welche den relativen Flächenanteil der Größtformen für die gesamte Erdoberfläche angibt. Klar erkennbar ist dabei, dass die größten irdischen Reliefeinheiten gleicher Form und Genese unter dem Wasser der Ozeane verborgen sind.

Weil die weitaus umfangreichste Literatur gerade zur Morphologie des Meeresbodens aus dem angelsächsischen Sprachraum stammt, sind die entsprechenden Begriffe in Tab. 3 den deutschen Bezeichnungen gegenübergestellt. Vielfach finden sie sich auch als Fachtermini allein ohne eine (meist nicht ganz glückliche) deutsche Übersetzung in unserem Schrifttum. Im folgenden werden alle in der Tabelle genannten Formen behandelt, die Küsten jedoch ausführlicher in späteren Kapiteln.

2.3.1 Die Schelfregionen

Viele Küstenebenen setzen sich mit außerordentlich flachem Gefälle (meist unter 1‰) unter Wasser noch weit in die See hinaus fort, bis sie an einem deutlichen Gefälleknick steiler abtauchen. Dieser Gefälleknick liegt zwischen weniger als 100 m und über 400 m Wassertiefe (Seibold & Berger 1982, S. 35), im Mittel jedoch bei ca. –200 m. Das von ihm und der Küstenlinie begrenzte Flachwassergebiet nennt man den Schelf (Abb. 6), den äußeren Rand demnach die Schelfkante.

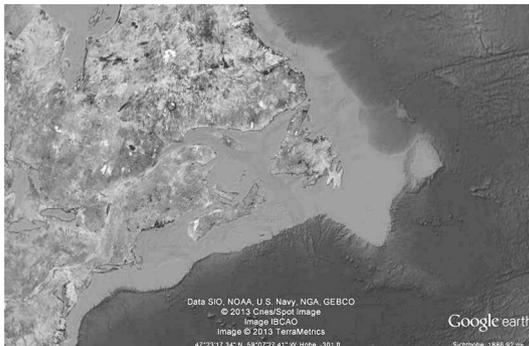


Abb. 6 Besonders breite Schelfregionen finden sich im Nordosten Kanadas um Neufundland (Google Earth).

Die Schelfgebiete nehmen auf der Erde einen Flächenanteil von über 10 %, im Atlantischen Ozean sogar von fast 20 % ein (vgl. Tab. 2). Besonders ausgedehnt sind sie u. a. im Bereich der Nordsee, vor dem östlichen Nordamerika oder dem Osten Argentiniens, zwischen Hinterindien und Australien (Sundaschelf) oder nördlich des nordamerikanischen und asiatischen Kontinentes. Sehr schmal entwickelt sind sie dagegen an solchen Küsten, die von hohen jungen Faltengebirgen begleitet werden, wie im Westen des amerikanischen Doppelkontinentes.

Die Genese dieser die Kontinente mehr oder weniger breit umgebenden Flachwasserbereiche ist teilweise recht kompliziert (vgl. Emery 1969) und kann hier nicht im Einzelnen diskutiert werden. Sie wird aber einfacher zu verstehen, wenn wir uns vergegenwärtigen, dass die gegenwärtigen Küstenlinien bzw. der augenblickliche Füllungsgrad der Ozeanbecken nur eine zufällige und von vielen veränderlichen Parametern abhängige Erscheinung ist.

Kontinentaldrift, Spreizung von Ozeanböden, Absenkung von Krustenteilen unter den Meeresspiegel und andere Ursachen sowie ein Aufsteigen von Gebirgen oder Kontinentalschollen würden ein relatives Fallen des Meeresspiegels und damit eine Verschiebung der Küstenlinie ozeanwärts bewirken. Auffüllen der Ozeanbecken mit Sedimenten oder vulkanischen Gebirgen oder das Zusammenrücken von Kontinenten dagegen kann die Wasserbecken verkleinern und damit zu einem Ansteigen des Wasserspiegels führen, so dass sich die Küste landwärts verschieben muss. Hinzu kommt die rasch und kräftig schwankende Bilanz des mobilen Wassers auf der Erde, insbesondere die Veränderung der festen und flüssigen Anteile im Verlauf von Eiszeiten und Warmzeiten.

Wenn die polaren Eiskappen und die Gletscher der Gebirge schmelzen, steigt der Meeresspiegel, wenn sie sich wegen einer beginnenden Abkühlung ausdehnen, so fällt der Meeresspiegel.

Diese kurzen Ausführungen mögen hier zunächst genügen um klarzumachen, dass eine breite Zone der Schelfe wegen des in geologischen Zeiträumen häufigen und starken Schwankens des Meeresspiegels sicher z. T. durch Brandungswellen eingeebnet worden sein kann bzw. als Plattform aus dem Festland herausgeschnitten wurde und damit nichts weiter als ein jetzt überfluteter Teil ehemaligen Küstenlandes ist. Aber auch ohne Meeresspiegelschwankungen sind die küstennahen Ozeanbereiche diejenigen Räume, in die vom Festland her über die Flüsse die Sedimente angeliefert werden, welche sich im stehenden Wasser absetzen müssen. Das führt im Endeffekt zu immer flacheren Wasserverhältnissen und stellenweise auch zu einem starken meerwärtigen Verschieben der Küstenlinie, z. B. in einem Delta.

In manchen Fällen liegen – abgesetzt von der Küste und unter Wasser – Erhebungen verschiedener Genese küstenparallel, wie z. B. Teile von mittelozeanischen Rücken oder ertrunkene Vulkanketten und Korallenriffe. Der Raum hinter ihnen kann von der Küste her rascher aufgefüllt werden, was im Endeffekt zu einer starken Verbreiterung der Schelfregionen führen muss.

Tab. 2 Anteil der Teilgebiete der einzelnen Ozeane in Prozent (i.w. nach Menard & Smith 1966, S. 430).

Ozean	Schelf und Kontinentalabhang	Kontinentaltalfußregion	Tiefseeebenen	submarine vulkanische Erhebungen	ozean. Berge und Rücken	Tiefseegräben
Pazifik	13,1	2,7	43,0	2,5	35,9	2,9
Atlantik	19,4	8,5	38,0	2,1	31,2	0,7
Indischer Ozean	9,1	5,7	49,2	5,4	30,2	0,3
Weltmeer insgesamt	15,3	5,3	41,8	3,1	32,7	1,7
bezogen auf die ges. Erdoberfläche (zuzügl. 29,5 % Festland)	10,8	3,7	29,5	2,2	23,1	1,2

Tab. 3 Deutsche und englische Bezeichnungen der submarinen Formen.

Küste	– coastline, coast
Strand Schorre Barre, Sandriff	– beach
	– platform
	– bar
Kontinentalrand	– continental margin
Schelf	– shelf
Schelfkante	– shelf break
Kontinentalabhang	– continental slope
Kontinentaltalfußregion	– continental rise
Unterwassertal	– sea valley (sea channel)
Unterwasser-Canyon	– submarine canyon
Tiefsee-Ebene	– abyssal plain
Tiefsee-Erhebung	– oceanic rise (deep sea rise)
Tiefseehügel	– abyssal hill
Tiefseeberg	– seamount
Tiefseekuppe, -Tafelberg	– guyot (tablemount)
mittelozeanischer Rücken	– mid-ocean ridge (deep sea ridge)
Tiefseefächer	– deep sea fan
Meeresbecken	– ocean basin
Tiefseebecken	– deep sea basin
Tiefseetrog	– deep sea through
Tiefseegraben	– deep sea trench

Entsprechend der mit der früheren Küstenentwicklung eng verbundenen geologischen Vergangenheit vieler Schelfabschnitte finden wir darauf eine ganze Reihe von Formen, die sich grob in drei Gruppen gliedern lassen: die erste gehört zu den unter Wasser angelegten Formen, wie sie als Sandbarren, Riffe oder Rinnen durch den Bodenkontakt starker Brandungswellen auch in größerer Wassertiefe oder durch kräftige Gezeitenströmungen in Küstennähe entstehen können. Einen besonderen Formenkreis bilden diejenigen Erscheinungen, die zwar unter Wasser, aber im Kontakt zwischen Gletschereis und Meeresboden entstanden sind. Es gehören dazu alle durch Gletscherschurf oder Schmelzwasser ausgetieften oder aufgeworfenen Formen wie Rinnen, Tröge, Oser, Kames, Drumlins, Moränenwälle etc. und damit der gesamte subglaziale Formenschatz, wie er auch auf dem Festland in Gebieten ehemaliger Vergletscherungen anzutreffen ist.

Den zweiten Formenkreis bilden ehemalige Küstenformen, die jetzt vollständig ertrunken sind. Dazu gehören z. B. Strandwallsysteme, Küstendünenketten, lagunäre Senken, Teile von Deltas, Wattfurchen, alte Felsplattformen, Klifflinien oder Brandungspfeiler, meist aus Zeiten tieferer Meeresspiegelstände während der Kaltzeiten des Eiszeitalters.

Den dritten Formenkreis nehmen schließlich jene Erscheinungen ein, die ursprünglich Teile des Festlandreliefs waren und durch Absenkung der Kruste oder Anstieg des Meeresspiegels nun völlig ertrunken sind. Dazu können alle subaerisch angelegten Formen gehören, seien sie aus dem glazialen oder periglazialen (z. B. Moränen, Oser, Pingos, Dellen), aus dem fluvialen (Mulden- oder Kastentäler, Kerben, Deltas, Flussterrassen), dem äolischen (Dünen oder Deflationswannen), dem tropisch-subtropisch-denudativen Kreis (wie Inselberge, Rumpfflächen, Fußflächen etc.) oder dem Karstformenschatz (Dolinen, Poljen, Uvalas etc.) entstanden.

Selbstverständlich sind jedoch diese Formen bei der Ertrückung durch litorale Prozesse mehr oder weniger umgeformt bzw. werden heute unter Wasser zunehmend von Sedimenten eingedeckt. Das führt zu ihrer allmählichen Verschleierung. Viel längere Zeit erhält sich dagegen der Charakter der Schelfsedimente, der mit den vorherrschenden Verwitterungs- und Abtragungsprozessen auf dem Festland und den jetzt ertrunkenen Festlandsteilen zusammenhängt (vgl. Abb. 7). So herrschen grobe Fraktionen in Bereichen ehemaliger Eisbedeckung vor, wo Moränen oder Schmelzwassersedimente angeliefert wurden. Sande gibt es in den Mittelbreiten und den Trockengebieten mit Vorherrschen einer mechanischen Verwitterung und fluvi-alem und äolischem Transport, während Silte und Tone eher in den feuchten Tropen mit der Dominanz chemischer Verwitterung auf dem Festland zu finden sind. Modifiziert wird dieses Bild jedoch u. a. durch die Abfallprodukte der zahlreichen planktonisch oder benthisch lebenden Organismen, die ja gerade im licht- und sauerstoffreichen Flachwasser der Schelfe günstige Lebensbedingungen vorfinden. Eine besondere Stellung nehmen dabei die Kalkskelette und ihre Reste ein, wie sie etwa die Korallen liefern können.

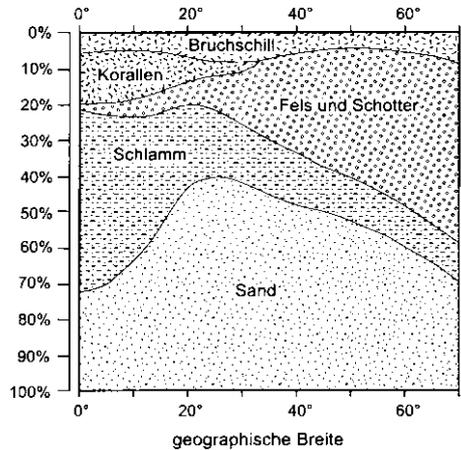


Abb. 7 Verteilung wichtiger Schelfsedimente in Bezug auf die Breitenlage (n. Hayes 1967).

2.3.2 Kontinentalabhang und Kontinentalfußregion

Am äußersten Rand der flachen Schelfregion, der sog. Schelfkante, befindet sich meistens ein Hangknick, an dem die sehr flachen Böschungen mit 20- bis 100-facher Steigerung des Gefälles in größere Wassertiefen abtauchen. Dieser sich manchmal über mehrere 1000 vertikale Meter erstreckende Hang, der bei subaerischer Lage jedoch lediglich als Flachform angesprochen werden müsste, wird Kontinentalabhang genannt. Er ist der zentrale Teil des sogenannten Kontinentalrandes, welcher aus Schelf, Kontinentalabhang und Kontinentalfußregion besteht. Wie der Name ausdrücken will, ist der Kontinentalabhang der eigentliche Randbereich der Kontinente. Gebiete oberhalb von ihm gehören oder gehörten dem Festland zu Zeiten eines niedrig stehenden Meeresspiegelstandes an, Gebiete unterhalb davon oder seewärts sind Meeresboden bereits seit langer Zeit der geologischen Entwicklung. Im Bereich des Kontinentalabhanges liegt daher auch jener geotektonisch wichtige Übergang zwischen den sehr dicken, starren Kontinentalschollen und den dünnen Ozeanböden. Diese alle Kontinente umgürtende Größtform der Erdoberfläche hat – schon wegen ihrer Lage zwischen den schon längst recht gut untersuchten Schelfen und der unbekannteren Tiefsee – in unserer Zeit eine große Fülle von Bearbeitungen und Darstellungen erfahren. Weltweite Überblicke finden sich z. B. bei Guilcher 1963, Emery 1970, Burk & Drake 1974, detailreiche Regionalstudien u. a. bei Menard 1961, Jacobi 1976, Haner & Gorsline 1978, sowie Cochran 1981. Dabei berücksichtigen alle neueren Untersuchungen nicht nur Form und gegenwärtig ablaufende exogen gesteuerte Prozesse (der Sedimentation und Erosion) am Kontinentalabhang, sondern auch den möglichen endogenen Formungsanteil im Sinne von Plattentektonik und „sea floor spreading“.

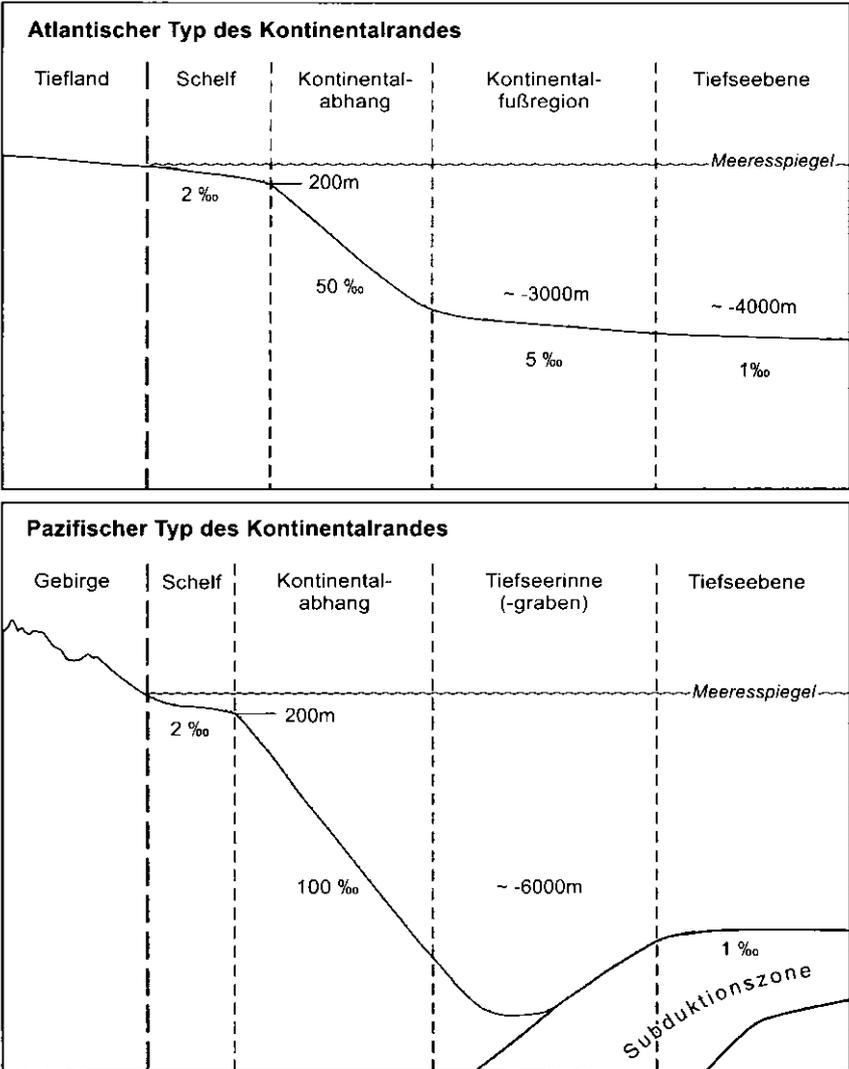


Abb. 8 Die beiden Haupttypen von Kontinentalrändern (verändert n. Seibold 1974, S. 16).

Wie Abb. 8 und 9 verdeutlichen, kann man zwischen zwei Typen des Kontinentalrandes unterscheiden, dem sogenannten atlantischen Typ und dem pazifischen Typ. Wie ein Blick auf eine Erdkarte zeigt, werden die Küsten des Atlantischen Ozeans von Flachländern oder eingerumpften Mittelgebirgen gestaltet, während die des Pazifischen Ozeans fast durchweg von Hochgebirgen und aktiven Vulkangürteln begleitet werden. Darin kommt zum Ausdruck, dass der Atlantische Ozean von geotektonisch ruhigen, sogenannten passiven, der Pazifische von geotektonisch lebhaft bewegten, sogenannten aktiven Regionen umgeben ist. Genau diese Unterschiede zeigen sich auch unter Wasser bei der Gestaltung der Kontinentalränder. So ist der atlantische Typ des Kontinentalrandes gekennzeichnet durch einen breiten und sehr flachen Schelf, an den sich ein Kontinentalabhang bis in mäßige Tiefe anschließt. Dieser Kontinentalabhang zeigt Böschungen von wenigen Grad Gefälle. In allmählichem, weitem konkaven Übergang liegt zu Füßen des Kontinentalabhanges die sogenannte Kontinentalfußregion, welche mit immer schwächer werdenden Böschungswinkeln dann zu den Tiefsee-Ebenen überleitet. Sie liegen bereits auf ozeanischer Kruste und werden von Fächern aufgebaut, welche ihre Sedimente über die Schelfkante hinweg vom Festland oder durch Rutschungen vom Kontinentalabhang erhalten. Der Kontinentalrand des pazifischen Typs ist von wesentlich anderer Gestalt. Die Kontinentalränder werden hier von Gebirgen sowie steileren und schmaleren Schelfen begleitet. Der küstennah liegende Kontinentalabhang ist deutlich steiler als der des atlantischen Typs, und er leitet hinunter in größere Wassertiefen (Abb. 8). Sehr oft endet er nicht in der flachen Böschung einer Kontinentalfußregion, sondern reicht bis zu begleitenden Tiefseeergräben oder -rinnen. Damit liegen die Tiefsee-Ebenen vom Kontinentalabhang durch solche Tiefseerinnen oder -gräben getrennt.

Im unteren Teil der Abb. 8 und 9 ist angedeutet, warum der pazifische Typ des Kontinentalrandes von so anderer Gestalt ist. Das hängt nämlich mit seiner aktiven Ge-

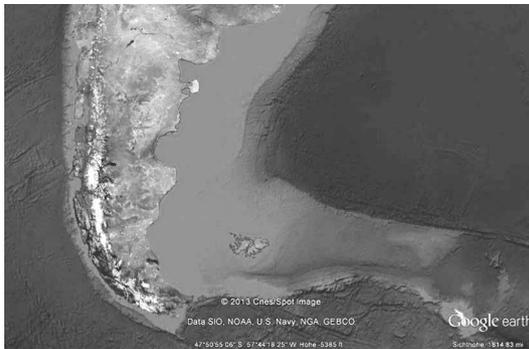


Abb. 9 Südliches Südamerika mit einem schmalen „aktiven“ Kontinentalrand im Westen infolge Subduktion der Platte des Pazifischen Ozeans unter den Kontinent, und einem breiten „passiven“ Kontinentalrand im Osten mit breitem Schelf (Google Earth).

nese zusammen. Es handelt sich um eine sogenannte geotektonische Kollisionsstruktur, wo die dünne ozeanische Kruste gegen eine mächtige Kontinentalkruste trifft und sich infolge ihrer tieferen Lage und größeren Dichte unter den Kontinent schiebt. Bei dieser Raumverengung werden Gebirge aufgefaltet, wobei Erdbeben und Vulkanausbrüche auftreten. Der Bereich, an dem sich beide Schollen übereinander schieben, ist die sogenannte Subduktionszone (oder Verschluckungszone) der ozeanischen Platte. Über der Wurzel dieser Subduktionszone wird deshalb ein Teil des Meeresbodens nach unten abgesenkt, so dass eine Tiefseerinne oder ein Tiefseegraben entsteht. Dieses geschieht so rasch, dass auch durch die erheblichen Sedimentmassen aus den die Küsten begleitenden Gebirgsländern keine vollständige Auffüllung stattfindet.

2.3.3 Submarine Canyons

Talformen oder rinnenförmige Vertiefungen auf dem Schelf wurden bereits erwähnt. Dabei handelt es sich meistens um die ehemals subaerisch angelegte Fortsetzung von Tälern zu Zeiten eines niedrig stehenden Meeresspiegels. Die zahllosen tiefen Rinnen auf dem Kontinentalabhang, welche sich sehr oft bis in viele tausend Meter Wassertiefe fortsetzen, sind dagegen in ihrer Genese sehr viel schwerer zu erklären. Zusammenfassende Darstellungen liefern u. a. Shepard 1933, Shepard & Dill 1966, Gorsline 1970 oder Whitacker 1976. Submarine Canyons sind weltweit verbreitet, gehäufte Vorkommen liegen im Bereich des tyrrhenischen Meeres um Korsika oder vor der „Coast Range“ der kalifornischen Küste, in einzelnen riesigen Formen auch vor der Mündung des Kongo, des Indus oder anderer Ströme. Die Genese dieser submarinen Täler hat lange Zeit großes Kopfzerbrechen bereitet, ist aber, was die Zahl der Hypothesen angeht, allmählich doch klarer geworden, je weiter eine genaue Kenntnis der Formen und Ablagerungen fortgeschritten ist. Eine befriedigende Klärung für jeden anzutreffenden Fall ist jedoch bis heute nicht möglich.

Wie den Abb. 10 und 11 zu entnehmen ist, entspringen typische submarine Canyons häufig oder gelegentlich auf dem Schelf (manchmal auch an der vorderen Schelfkante) und setzen sich dann in mehr oder weniger deutlichen Einschnitten den ganzen Kontinentalabhang bis zur Kontinentalfußregion fort. Sie sind dabei durchaus markant eingetieft, manche weisen sogar wenigstens stellenweise senkrechte, felsige Wände auf. Wesentliche Früherklärungsversuche zielten darauf hin, diese Vertiefungen als tektonische Linien, als Risse oder schmale Grabenbrüche zu kennzeichnen, wogegen aber ihr gewundener und sehr stark flussähnlicher Verlauf spricht und die Tatsache, dass sie auch in Gegenden auftreten, die tektonisch ungestört sind. Eine zweite vielfach herangezogene Erklärung versuchte, die submarinen Canyons als die Fortsetzung terrestrischer Täler zu sehen. Da die Meeresspiegelschwankungen innerhalb der letzten Millionen Jahre aber nachweislich nur wenig über 100 m betragen, könnte nur eine starke Absenkung diese Täler so weit unter den Meeresspiegel gebracht haben. Eine solche Erklärung scheidet aber für die meisten Kontinentalränder aus.



Abb. 10 Submarine Canyons am Kontinentalabhang im Osten der USA (Google Earth).

Allenfalls für Teile des Mittelmeergebietes mag die Erklärung als subaerisch angelegte Täler und Schluchten Gültigkeit haben, da hier in den letzten Jahren der Nachweis gelungen ist, dass im Jungtertiär (vor 5–6 Mio. Jahren) das Mittelmeer tatsächlich ausgetrocknet war.

Insgesamt müssen wir davon ausgehen, dass die submarinen Canyons unter dem Ozeanwasser an Böschungen entstanden sind, die gewöhnlich nur wenige Grad geneigt sind. Da ein schwerkraftbedingter Massentransport unter Wasser erheblich anders abläuft als auf den Kontinenten, bereitet die Vorstellung der Austiefung großer

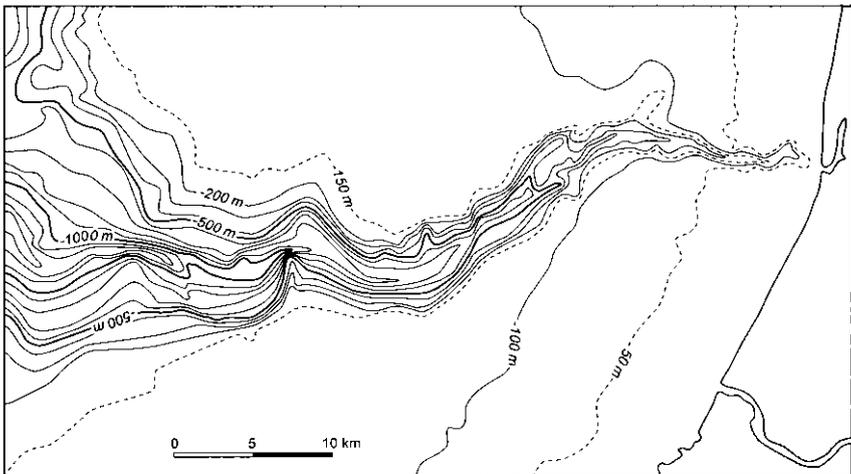


Abb. 11 Submariner Canyon vor der französischen Atlantikküste.

submariner Canyons erhebliche Schwierigkeiten. Die größte Wirkung dürfte von sogenannten „turbidity currents“ (Trübeströmungen) ausgehen. Dafür sprechen nicht nur gelegentliche Beobachtungen mittels Unterwasserfernsehen, sondern auch die im Experiment nachgewiesene Formungsaktivität von trüben Sedimentwolken an Unterwasserböschungen sowie die Tatsache, dass sich vor dem Ausgang der submarinen Canyons sehr häufig eine große Menge von korrekten Sedimenten befindet. Über die Geschwindigkeit und Reichweite solcher Suspensionsströmungen unterrichtet auch Louis & Fischer (1979, S. 572).

Die Mobilisierung einer Sedimentwolke im Ozeanwasser kann verschiedene Ursachen haben. Möglicherweise sind es tiefreichende Tideströme oder allgemeine Druckunterschiede im Wasser, die auf Salzgehalt- oder Temperaturunterschiede zurückgehen. Sehr häufig jedoch dürften Erdbeben die Auslöser sein, so dass auf instabilen Böschungen jüngere, wenig verfestigte Sedimente mit feinerer Korngröße in Bewegung geraten können. Obwohl mit zunehmender Geschwindigkeit solche trüben Wolken aus Sand-, Silt- und Tonpartikeln immer mehr aufgewirbelt werden und dabei an Dichte verlieren, erreichen sie relativ hohe Geschwindigkeiten. Die kurzfristige Transportleistung kann dann sehr groß sein und dementsprechend auch die Erosionswirkung sowie die Sedimentationsrate am unteren Ausgang dieser Canyons. Beobachtungen dazu haben Defekte an untermeerisch verlegten Kabeln geliefert, die submarine Canyons oder ihre Ausgänge queren. Ihre Zerstörungen folgten mehrfach mit kurzzeitigem Abstand auf Erdbeben, die Kabel selbst wurden dabei mehr oder weniger stark verschüttet.

Die extrem großen Canyonformen vor der Mündung mancher Riesenströme (z. B. Kongo) lassen sich vielleicht dadurch erklären, dass diese Flüsse sehr große Sedimentmengen anliefern und dadurch den „turbidity currents“ viel Material zur Ausschürfung des Kontinentalabhangs zur Verfügung steht. Ist erst einmal eine primäre Tiefenrinne angelegt worden, so werden nachfolgende Trübestrome bevorzugt diese Bahn wieder benutzen. Die am Ausgang der submarinen Canyons rein schwerkraftbedingte Absetzung der Sedimente weist eine typische gleitende Abfolge von groben und feinen Korngrößen von unten nach oben auf, die sogenannte gradierte Schichtung. Diese findet sich auch in vielen geologisch älteren Ablagerungen der Erdkruste.

Ein anderer verbreiteter Typ von Unterwassertälern, allerdings oft sehr viel kleinerer Dimensionen, befindet sich manchmal an der Außenböschung von Deltas im Bereich der sogenannten „fore-set beds“. Die Sedimente können dort aus geringem Anlass (z. B. Herauspressen von Wasser oder Gas) in Bewegung geraten und dann schlammwolkenartig die Böschungen heruntereilen, wobei den submarinen Canyons vergleichbare, aber sehr viel kleinere Formen entstehen. Sie werden häufig als „Gullies“ bezeichnet. Nicht immer muss eine talartige Form entstehen, sondern es kommen auch Rutschungen und zusammengeschobene Sedimentpakete in Form von Wall- und Beulenstrukturen vor. Insgesamt gesehen jedoch sind die beiden ge-

nannten Typen von Unterwassertälern die häufigsten Formelemente, die auf dem Kontinentalabhang anzutreffen sind.

2.3.4 Mittelozeanische Rücken

Erst mit der Entwicklung des Echolot-Verfahrens nach dem 1. Weltkrieg konnten die Geheimnisse des Formenschatzes der Tiefsee zunehmend entschleiert werden. Das deutsche Forschungsschiff *Meteor* entdeckte so auf seiner Südatlantik-Expedition 1925–1927 erstmals ein ausgedehntes zentralozeanisches Gebirgssystem, dessen Existenz mittlerweile für alle Ozeane nachgewiesen werden konnte. Seine typische Lage (vgl. Abb. 12–14) führte zu der Bezeichnung „mittelozeanischer Rücken“. Er nimmt fast 1/3 der Ozeanböden ein und ist mit einer Länge von ca. 60 000 km (nach den Kontinentalabhängigen) die zweitgrößte Form auf unserem Erdball. Nur an zwei Stellen trifft dieses Gebirgssystem auf die Kontinente, nämlich beim Golf von Niederkalifornien und beim Golf von Aden. Beides sind Schlüsselstellen zur Erklärung dieser Reliefeinheiten.

Zahlreiche Lotungen haben ergeben, dass die mittelozeanischen Rücken auffällig symmetrisch gebaut sind: um einen Zentralgraben, das sogenannte „rift valley“ (vgl. Heezen et al. 1969, Knopoff et al. 1969, Vinogradov & Udincev 1975, Ballard & Moore 1977) mit einer Breite von einigen bis zu 50 km und relativer Tiefe von vielen 1000 m ordnen sich beidseitig zunächst eine Horst-Graben-Zone, sodann eine Bruchschollenzone sowie obere, mittlere und untere Staffeln von Bergzügen an, die jeweils an Breite zunehmen, geringere Reliefenergie aufweisen und tiefer unter dem Meeresspiegel liegen. Erst in einer Entfernung von vielen 100 km vom zentralen „rift valley“ schließen sich flankierende Tiefseeböden und Tiefseehügel an.

Eine Vielzahl von Arbeiten (u. a. Pfannenstiel 1961b, oder Ulrich 1969a) haben Anordnung und Genese der ozeanischen Rücken mit ihren typischen Blattverschiebungen (vgl. Abb. 12) aufgeklärt. Zunächst ist eine große morphologische Ähnlichkeit mit Riftzonen der Kontinente – auch nach den Dimensionen – nicht zu übersehen (vgl. Abb. 13). Zusammen mit dem Übergang der submarinen Gebirgsketten in sich erst jung öffnende Ozeanspalten (Golf von Niederkalifornien und Golf von Aden/Rotes Meer) liegen damit Hinweise vor, dass es sich um Nahtstellen in der Ozeankruste handelt, an der Schollen allmählich auseinanderdriften und die sich ständig unter Bildung neuer Erdkruste erneuern. Das häufige Auftreten flacher Erdbeben, geringe Geschwindigkeit seismischer Wellen in der Kammregion, ein hoher Wärmefluss im dortigen Gestein, Schwereanomalien sowie die Ergebnisse paläomagnetischer Messungen ergaben zusammen das moderne Bild des sogenannten „sea floor spreading“, wie es vereinfacht nach Dietrich et al. (1975, S. 51) in Abb. 14 dargestellt ist: Beim Zerreißen der dünnen Ozeankruste wegen des Auseinanderdriftens der Kontinental-schollen dringt Material des Erdmantels (Magma) nach oben und vermischt sich mit Material der Erdkruste. Wo die Förderung besonders groß ist bzw. die Nahtstelle nahe der Meeresoberfläche liegt, wachsen vulkanische Inseln

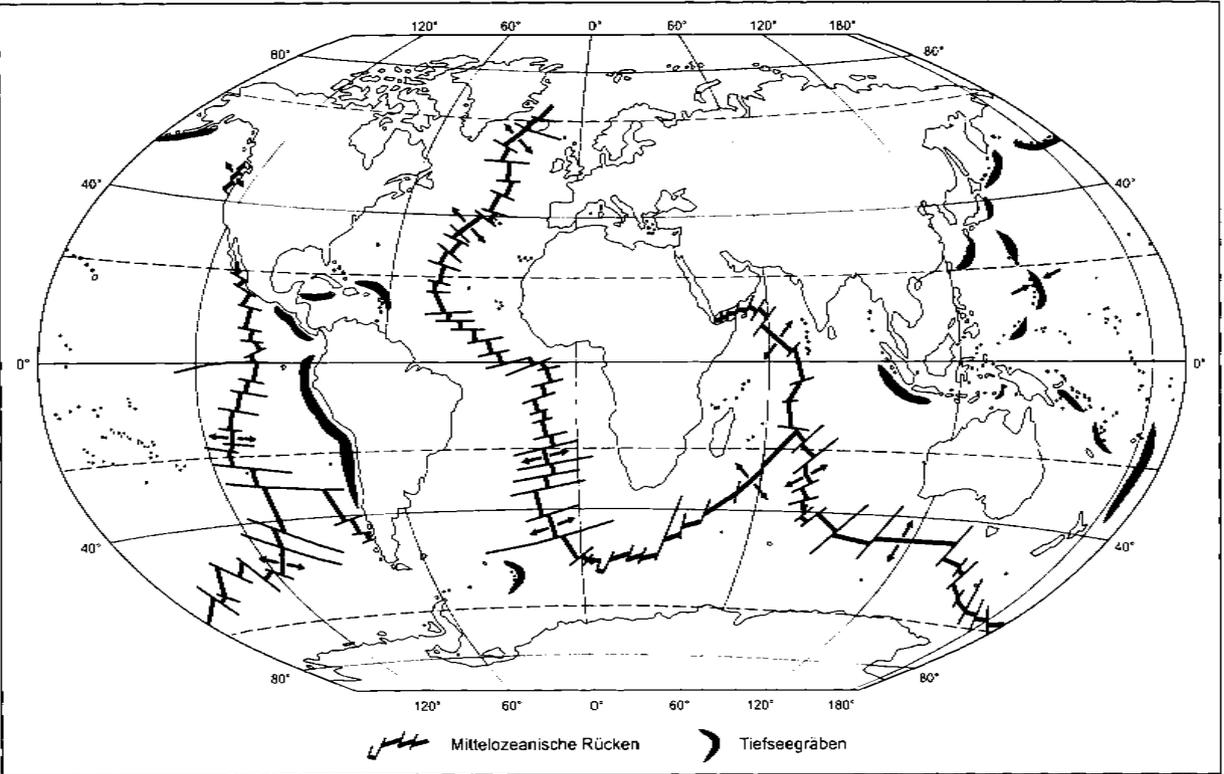


Abb. 12 Die Lage der mittelozeanischen Rücken und Tiefseegräben.