

UTB L (Large-Format) 8159

Physische Geographie

Bearbeitet von
Alan H. Strahler, Arthur N. Strahler

erweitert, überarbeitet 2009. Buch. 688 S. Hardcover

ISBN 978 3 8252 8159 5

Format (B x L): 17 x 24 cm

[Weitere Fachgebiete > Geologie, Geographie, Klima, Umwelt > Geographie
Allgemein, Naturgeographie > Physische Geographie und Topographie](#)

Zu [Inhaltsverzeichnis](#)

schnell und portofrei erhältlich bei

**beck-shop.de**
DIE FACHBUCHHANDLUNG

Die Online-Fachbuchhandlung beck-shop.de ist spezialisiert auf Fachbücher, insbesondere Recht, Steuern und Wirtschaft. Im Sortiment finden Sie alle Medien (Bücher, Zeitschriften, CDs, eBooks, etc.) aller Verlage. Ergänzt wird das Programm durch Services wie Neuerscheinungsdienst oder Zusammenstellungen von Büchern zu Sonderpreisen. Der Shop führt mehr als 8 Millionen Produkte.



UTB 8159

Eine Arbeitsgemeinschaft der Verlage

Beltz Verlag Weinheim und Basel
Böhlau Verlag Köln · Weimar · Wien
Wilhelm Fink Verlag München
A. Francke Verlag Tübingen und Basel
Paul Haupt Verlag Bern · Stuttgart · Wien
Verlag Leske + Budrich Opladen
Lucius & Lucius Verlagsgesellschaft Stuttgart
Mohr Siebeck Tübingen
C. F. Müller Verlag Heidelberg
Ernst Reinhardt Verlag München und Basel
Ferdinand Schöningh Verlag Paderborn · München · Wien · Zürich
Eugen Ulmer Verlag Stuttgart
UVK Verlagsgesellschaft Konstanz
Vandenhoeck & Ruprecht Göttingen
WUV Facultas · Wien

Alan H. Strahler
Arthur N. Strahler

Physische Geographie

2., überarbeitete und ergänzte Auflage

Aus dem Englischen übersetzt und bearbeitet von
Professor Dr. Frank Ahnert

77 Farb- und Schwarzweißfotos
519 Zeichnungen
36 Tabellen

Verlag Eugen Ulmer Stuttgart

Die Zeichnungen fertigte Helmuth Flubacher, Waiblingen,
nach den Vorlagen der englischen Originalausgabe.

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Strahler, Alan H.:

Physische Geographie : 2., überarb. u. erg. Aufl., 36 Tabellen / Alan H. Strahler ; Arthur N. Strahler. Übers. und bearb. von Frank Ahnert. – Stuttgart

(Hohenheim) : Ulmer, 1999, 2002

(UTB für Wissenschaft : Grosse Reihe)

Einheitssacht.: Modern physical geography <dt.>

ISBN 3-8252-8159-0 (UTB)

ISBN 3-8001-2793-8 (Ulmer)

Titel der englischen Originalausgabe: Modern Physical geography, 4th edition.

Copyright © 1978, 1983, 1987, 1992 by John Wiley & Sons., Inc.

All rights reserved.

Authorized translation from English language edition published by John Wiley & Sons, Inc.

Alle Zeichnungen dieses Buches mit Quellenangabe nach *Goode Base Map* basieren auf der Goode Map Nr. 201HC World Homolosine, © University of Chicago, mit freundlicher Genehmigung des Geography Department, University of Chicago.

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 insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Bearbeitung in elektronischen Systemen.

© 1999, 2002 Verlag Eugen Ulmer GmbH & Co.
Wollgrasweg 41, 70599 Stuttgart (Hohenheim)
e-mail: info@ulmer.de
Internet: www.ulmer.de
Printed in Germany
Lektorat: Ulrich Commerell, Dr. Nadja Kneissler
DTP: Ulla Stammel
Herstellung: Otmar Schwerdt
Satz: Dörr+Schiller, Stuttgart
Druck und buchbinderische Verarbeitung:
Friedrich Pustet, Regensburg

ISBN 3-8252-8159-0 (UTB-Bestellnummer)

Vorwort

Die erste Auflage von Strahlers *Physical Geography*, vor vier Jahrzehnten von John Wiley & Sons veröffentlicht, etablierte die Tradition eines umfassenden, auf der Grundlage naturwissenschaftlicher Prinzipien beruhenden Lehrbuchs der physischen Geographie. Heute wie damals sind diese Prinzipien sorgfältig ausgewählt – aus den Wissenschaften der Atmosphäre (Meteorologie und Klimatologie) sowie aus der Hydrologie, den Geowissenschaften (Geologie, Geophysik und Geomorphologie), der Bodenkunde, der Ökologie und der Biogeographie. Aus den in besonderer Weise verflochtenen Komponenten dieses breiten Themenspektrums geht eine physische Geographie hervor, welche die biotischen Gegebenheiten des Planeten Erde zu den abiotischen Gegebenheiten der Umwelt in Beziehung setzt. Von der ersten Auflage bis heute wurde der gründliche Text durch eine reichhaltige graphische Ausstattung ergänzt, mit zahlreichen speziell hierfür angefertigten Zeichnungen, schematischen Diagrammen und Karten sowie einer umfangreichen Sammlung ausgezeichneter Photos.

Im Laufe der fünfziger und sechziger Jahre wurde der Stoff der *Physical Geography* weiter ausgedehnt – auf die Bodenkunde einschließlich der modernen internationalen Bodentaxonomie, auf relevante biogeographische Konzepte der Funktionsweisen von Ökosystemen und auf das globale System der Biome. Hinzu kamen außerdem besonders entworfene, mehrfarbige Weltkarten in großem Format. Die Nachfrage nach einer gekürzten Fassung der *Physical Geography* für Verwendung in einsemestrigen Lehrveranstaltungen führte 1965 zur Veröffentlichung der *Introduction to Physical Geography*. Dieses zweistufige System erwies sich als sehr erfolgreich und wird auch weiterhin beibehalten.

Verschiebung des Gesichtspunktes

In den frühen siebziger Jahren wurde das Bewußtsein der Öffentlichkeit in dramatisch wachsendem Ausmaß auf die größer werdenden Probleme gelenkt, welche durch die starken Einwirkungen der Tätigkeit des Menschen auf natürliche Systeme entstehen, auch im Zusammenhang mit dem zunehmenden Raubbau an den Schätzen der Natur. In ih-

rer nun einsetzenden Zusammenarbeit als Koautoren wandten sich A.N.Strahler und A.H.Strahler nun diesen Sorgen um Umwelt und Naturschätze in drei modernen, von den Verlagen Wiley und Hamilton herausgebrachten Lehrbüchern zu: *Environmental Geoscience* (1973), *Introduction to Environmental Geoscience* (1974) und *Geography and Man's Environment* (1977). Viel von diesem neuen, interessanten Stoff wurde auch bald in Strahlers neue Lehrbuchauflagen der physischen Geographie aufgenommen.

Erweiterung der Konzepte

In den späten siebziger Jahren entstand ein auf neuesten Stand gebrachter Ansatz zur physischen Geographie mit unserer zweistufigen Lehrbuchserie *Modern Physical Geography* und *Elements of Physical Geography*, wobei das letztere Buch die verkürzte Fassung darstellt. Zu den in dieser Serie neu eingeführten und auch in der gegenwärtigen Auflage beibehaltenen konzeptionellen Fortschritten gehört eine erweiterte Behandlung der Bodenwasserbilanz und ein von Strahler auf der Basis dieser Bodenwasserbilanz völlig neu entworfenes System einer globalen Klimaklassifikation. Ebenfalls wichtig war die Einführung des zusammenführenden Konzepts offener Systeme der Energie und der Materie unter Benutzung besonderer, im ganzen Lehrbuch verteilter Fließdiagramme. Gleichzeitig wurde das neue, von den Geowissenschaften inzwischen voll anerkannte Konzept der Plattentektonik in die Strahler-Lehrbücher aufgenommen, zusammen mit einer neuen Betonung tektonischer Landformen. Überlagert wurden diese neuen Dimensionen globaler Umweltsysteme von unserer sehr verstärkten Beachtung der vom Menschen verursachten Umweltänderungen und Rohstoffprobleme. Umweltkatastrophen wie z.B. Stürme, Hochwasser, Vulkanausbrüche und Erdbeben wurden in größerem Detail dokumentiert.

Die revidierten Auflagen dieser zwei für verschiedene Intensitäten des Studiums eingerichteten Strahler-Lehrbücher haben mit neuen Ergebnissen der wissenschaftlichen Forschung und deren Anwendung auf allen diesen wesentlichen Gebieten Schritt gehalten.

Über die neue vierte Auflage

Die hier übersetzte vierte Auflage der *Modern Physical Geography* enthält wesentliche Änderungen in viererlei Hinsicht. Erstens sind Text und Abbildungen auf den gegenwärtigen Kenntnisstand gebracht worden, einschließlich der Einführung neuer gegenwärtig interessierender Themen. Zweitens wurden der zu behandelnde Stoff und die Reihenfolge der Kapitel neu geordnet. Drittens wurden die Themen über Umwelt und Naturschätze, die von lebenswichtigem Belang für die Menschen sind, in erweitertem Umfang behandelt.

Anpassung des Textes und der Abbildungen an den gegenwärtigen Kenntnisstand

Wie bei vergangenen Auflagen ist auch diese Auflage bemüht, die neueste verfügbare Information vorzustellen. Neue Themen von gegenwärtiger Bedeutung sind an verschiedenen Stellen des revidierten Werkes eingefügt worden. Beispiele sind die Erörterungen der Warmkern- und Kalt kern-Ringströmungen im Nordatlantik, dargestellt mit farbigen Satellitenbildern, oder neue Karten der atmosphärischen Höhenzirkulation im System des asiatischen Monsuns sowie ein neuer Abschnitt über Gewitter-Fallböen (microbursts), die am Boden durch Doppler-Radaraufnahmen sichtbar gemacht werden. Wir haben auch unser früheres Kapitel über die Strahlungsbilanz der Erde auf den gegenwärtigen Kenntnisstand gebracht und u. a. die alte Langley-Einheit durch die neue Maßeinheit Watt pro Quadratmeter ersetzt. Ein weiteres Beispiel ist die Modernisierung von Diagrammen und Texten über die Häufigkeitsverteilung extremer Wettererscheinungen – Hagelschläge und Tornados. Neue Informationen sind auch in der Behandlung der speziellen Umwelt- und Rohstoffthemen enthalten.

Umordnung von Inhalten und Kapitelfolgen

Die vorgenommenen Änderungen sind sehr begrüßt worden – sowohl von der Mehrheit der Rezensenten, die unser Manuskript kritisch durchgesehen haben, als auch von über dreißig Dozenten der physischen Geographie, die einen detaillierten Fragebogen der Autoren beantwortet haben. Die wichtigsten Änderungen sind diese:

- Die Abfolge der Themen in den Anfangskapiteln wurde gestrafft und direkter auf die physikalische Grundlage der Atmosphärenwissenschaften aus-

gerichtet. Das revidierte erste Kapitel (Form und Bewegung des Planeten Erde) ist nun vollständig auf die grundlegenden Beziehungen zwischen Erde und Sonne ausgerichtet, die in den folgenden Kapiteln unmittelbar angewandt werden. Text und Abbildungen der technischen Themen „Kartenprojektionen“ und „Fernerkundung“, die früher Teile des Anfangskapitels waren, erscheinen nun in Anhängen am Ende des Buches.

- Die Klimatologie wird in vier Kapiteln (8–11) behandelt, von denen sich die ersten beiden mit Prinzipien der Klassifikation, mit Klimasystemen und mit der Bodenwasserbilanz befassen. Die beiden folgenden Kapitel beschreiben globale Klimatypen in einer integrierten Behandlung zusammen mit reichhaltigen ergänzenden Beschreibungen der jeweiligen charakteristischen Böden, der Vegetation und der Nutzpflanzen. Diese Anordnung fügt der Beschreibung der Klimate einen wichtigen ökologischen Inhalt hinzu und bietet dadurch eine Synthese jedes Klimas mit seiner besonderen Kombination von Böden, Landformen und Vegetationstypen.
- Das frühere Kapitel über Abfluß und Wasservorräte wurde als Kapitel 16 weiter nach hinten verlegt, zwischen die Kapitel über Verwitterung und über vom fließenden Wasser geschaffene Landformen. Zugleich wurde dabei die Behandlung des Grundwassers, der Hochwasser und der Seen verstärkt.
- Die Beseitigung des überholten, ein halbes Jahrhundert alten Marbut-Systems der Bodenklassifikation (USDA, 1938) wurde von der Mehrheit unserer Manuskript-Rezensenten und Geographiedozenten nachdrücklich empfohlen. Das Kapitel über die Böden der Welt ist nun auf das Comprehensive Soil Classification System (die „Bodentaxonomie“) und auf das kanadische System der Bodenklassifikation konzentriert.

Verschiedene kurz behandelte Themen, die schon in der zweiten Auflage (1983) enthalten waren, aber in der dritten (1987) weggelassen wurden, sind wieder aufgenommen worden. Sie gehören hauptsächlich zu den Bereichen Meteorologie, Ozeanographie und Hydrologie. Insgesamt verbessern die Änderungen den Informationsgehalt des Lehrbuches und liefern insbesondere den wesentlichen Hintergrund für die erweiterten Abschnitte über Umwelt und Naturschätze.

Die Liste der zur Ergänzung empfohlenen Fachliteratur enthält zahlreiche neuere Artikel in zugänglichen Zeitschriften.

Themen Umwelt und Naturschätze

Die Lehrveranstaltungen der physischen Geographie in den Colleges und Universitäten Nordamerikas sind sehr gut in der Lage, den Studierenden von heute die lebenswichtigen Konzepte und Hintergründe für noch offene globale Umweltprobleme und -diskussionen deutlich zu machen. Neue Lehrveranstaltungen mit der gleichen Zielsetzung werden jetzt auch in anderen Instituten angeboten, unter Bezeichnungen wie „Erdsystem-Wissenschaft“, „Planetare Ökosysteme“, „Globale Umweltwissenschaft“ und „Umwelt-Geowissenschaft“. Um der Herausforderung zu begegnen, die durch diese Neuankommlinge für unser traditionelles und erfolgreiches Lehrprogramm der physischen Geographie entstanden ist, haben wir die Behandlung wesentlicher globaler Probleme und Diskussionsthemen durch die Erarbeitung einer vielseitigen Serie von Abschnitten über Umwelt- und Rohstoffthemen erweitert. Die folgende Liste zeigt die thematische Breite dieser besonderen Abschnitte an:

- Die Ozonschicht – ein Schutzschild für das Leben auf der Erde (Kapitel 2)
- Treibhauseffekt und Klimaänderung (Kapitel 4)
- Wind als Energiequelle (Kapitel 5)
- Wolkenbedeckung, Niederschlag und globale Erwärmung (Kapitel 6)
- Die Vorhersagen zweier Hurrikane – Gilbert und Hugo (Kapitel 7)
- Luftverschmutzung und ihre Auswirkungen (Kapitel 6)
- Säureablagerungen und ihre Auswirkungen (Kapitel 6)
- Fernerkundung von Wettererscheinungen (Kapitel 7)
- El Niño und die südliche Oszillation (Kapitel 7)
- Geothermale Energiequellen (Kapitel 14)
- Erdbeben als Umweltrisiken (Kapitel 14)
- Umweltprobleme durch Grundwasserentnahme (Kapitel 16)
- Der Aralsee – ein sterbender Salzsee (Kapitel 16)
- Chemische Ursachen der Wasserverschmutzung (Kapitel 16)
- Maßnahmen zur Verminderung von Hochwässern (Kapitel 17)
- Ansteigender Meeresspiegel und Überschwemmung der Küsten – eine Bedrohung durch globale Erwärmung (Kapitel 20)
- Vom Menschen verursachte Deflation – die Dust Bowl der Great Plains (Kapitel 21)
- Inlandeisdecken und globale Erwärmung (Kapitel 22)
- Die grüne Revolution – Erfolg oder Fehlschlag? (Kapitel 25)
- Der große Waldbrand von Yellowstone Park – verhängnisvoll oder nützlich? (Kapitel 26)
- Biomassenbrände und ihre Wirkung auf die Atmosphäre (Kapitel 26)
- Die Nutzung des Regenwald-Ökosystems der niederen Breiten (Kapitel 27)
- Wälder und globale Erwärmung (Kapitel 27)
- Dürre und Landdegradierung im afrikanischen Sahel (Kapitel 27).

Bessere Druckgestaltung

Hinsichtlich der Verbesserung der Druckgestaltung und des damit verbundenen visuellen Eindrucks freuen wir uns, daß die Einführung des Zweifarbedrucks im gesamten Buch die Verwendung von besonderen Farbdrucktafeln erübrigt hat, welche vorher recht unübersichtlich eingeschaltet waren und schlecht mit dem Textzusammenhang verknüpft werden konnten. In bestimmten Bereichen des vorliegenden Lehrbuchs wurde mit Vierfarbdruck gearbeitet, damit die vertrauten Weltkarten der Temperatur, des Luftdrucks und der Winde, des Niederschlags, der Klimate, der Böden und der Vegetation an jenen Stellen im Text möglich sind, an denen sie zuerst diskutiert werden. Farbphotographien und Fernerkundungsbilder erscheinen nun ebenfalls nahe den jeweils relevanten Textstellen. Viele Photos sind neu. Die Anzahl der Fotos wurde gegenüber der englischen Originalausgabe jedoch aus drucktechnischen Gründen etwas verringert. Die Auswahl der Photos geschah hauptsächlich nach dem Kriterium ihres wissenschaftlich wesentlichen Inhalts. Viele der Strichzeichnungen sind durch den Gebrauch einer Schmuckfarbe wirksamer geworden.

Wie noch nie zuvor läßt die Relevanz der auf den neuen Stand gebrachten Übersetzung der vierten Auflage von *Modern Physical Geography* für gegenwärtige Probleme der Umwelt und der Rohstoffnutzung dazu ein, dieses Buch in einer breiten Vielfalt von Studienplänen und Lehrveranstaltungen zu benutzen. Als brauchbarer Ansatz für kürzere Übersichtsveranstaltungen von der Dauer eines Semesters oder eines Trimesters ist es möglich, das jeweils Nötige aus dem Inhalt dieser neu revidierten Auflage auszuwählen, d.h. jene Kapitel, Abschnitte und Absätze, die innerhalb der verfügbaren Zeit studiert werden können und mit dem vorhandenen Hintergrundwissen der Studierenden zugänglich sind. Die klare und durch graphische Illustrationen um-

8 Vorwort

fangreich ergänzte Textdarstellung macht einen solches flexibles Vorgehen interessant und durchführbar.

Danksagungen

Wir danken einer großen Gruppe von Geographiedozenten, die unseren Autorenfragebogen nach eventuell nötigen Revisionen beantwortet haben. Zahlreiche Kommentare und Vorschläge, die sie den zurückgesandten Fragebögen beigefügt haben, richteten unsere Aufmerksamkeit auf eine große Vielfalt von Möglichkeiten, das Buch zu verbessern. Folgende Geographiedozenten, die *Modern Physical Geography* als Lehrbuch in ihren Lehrveranstaltungen benutzen bzw. benutzt haben, haben uns ihre Antworten, Kommentare und Vorschläge zukommen lassen:

Susan W. Beatty, Nelson Caine and David E. Greenland, University of Colorado, Boulder; Robert M. Hordon and David A. Robinson, Rutgers University, New Brunswick, N.J.; Robert K. Holz, University of Texas, Austin; Ronald W. Jenkins, Pennsylvania State University, York; Thomas S. Krabacher, California State University, Sacramento; Hsiang-Te

Kung, Memphis State University, Memphis, Tenn.; David R. Legates, University of Oklahoma, Norman; Michael E. Lewis, University of North Carolina, Greensboro; Robert B. McMaster, Syracuse University, N.Y.

Wir danken auch den folgenden Rezensenten des vollständigen Manuskripts der revidierten Auflage:

June M. Ryder, Karen Ewing, John Wolcott, Graham Thomas and Margaret E. A. North, University of British Columbia, Vancouver; Kenneth Hinkel, Nick Dunning and Susanna Tong, University of Cincinnati; Richard Hackett, Oklahoma State University; Donald E. Petzold, University of Maryland; Barbara Borowiecki, University of Wisconsin; Bruce Young, Santa Monica College; David Butler, University of Georgia; Duane Nellis, Kansas State University; John Giardino, Texas A&M University and Michael L. Barnhardt, Memphis State University.

Mit dieser breiten Basis von Ratschlägen und Unterstützung war es uns möglich, eine revidierte Auflage vorzulegen, von der wir hoffen, daß sie den Erfordernissen der großen Mehrheit der Dozenten für Physische Geographie entspricht.

Alan H. Strahler
Arthur N. Strahler

Vorwort zur 2. Auflage der deutschen Übersetzung

Der Erfolg dieses Lehrbuchs hat die zweite Auflage nötig gemacht. Wie schon in der ersten Auflage hält sich der Text weitgehend an die amerikanische Vorlage der „Modern Physical Geography“ von Strahler und Strahler, bis auf eine wesentliche Ausnahme: Zahlreiche Leser der ersten Auflage haben in ihren Zuschriften den Wunsch geäußert, die Neuauflage möge die in Deutschland auftretenden Bodentypen ausführlicher vorstellen als vorher. Dies ist nun geschehen als letzter Teil des Kapitels 24 „Böden der Welt“, in dem die ursprünglichen Abschnitte über das kanadische System der Bodenklassifizierung und über die Beschreibung der Böden Kanadas weggelassen wurden und stattdessen die offiziell in Deutschland von den Geologischen Landesämtern und von der Bundesanstalt für Geowissenschaften

und Rohstoffe benutzte Klassifikation der wichtigsten Bodentypen Mitteleuropas, die Kennzeichnung ihrer Horizonte und die räumliche Verbreitung dieser Böden dargelegt werden. Damit gewinnt das Buch zusätzliche Nutzbarkeit im deutschen Sprachraum.

Wo die Autoren über aktuelle Ereignisse und Entwicklungen berichteten, wurden diese soweit wie möglich auf den neuesten Stand gebracht und ergänzt. Dem Verzeichnis ergänzender Literatur in deutscher Sprache wurden mehrere nützliche Titel hinzugefügt. Außerdem wurden einige terminologische Ungenauigkeiten, Fehler in den Abbildungen und sonstige Druckfehler korrigiert.

Frank Ahnert

Über die Autoren

Alan H. Strahler (geb. 1943) erhielt seinen Bachelor of Arts-Grad 1964 und promovierte 1969 am Department of Geography and Environmental Engineering der Johns Hopkins University. Seine Forschungsveröffentlichungen liegen auf den Gebieten der Pflanzengeographie, der Forstökologie, der quantitativen Methoden und der Fernerkundung. Er hat an der University of Virginia, der University of California in Santa Barbara und am Hunter College der City University of New York gelehrt und ist gegenwärtig Professor of Geography an der Boston University. Er ist Koautor mehrerer Lehrbücher der physischen Geographie und der Umweltwissenschaften.

Arthur N. Strahler (geb. 1918) erhielt seinen Bachelor of Arts-Grad 1938 vom College of Wooster, Ohio, und promovierte 1944 im Fach Geologie an der Columbia University. Er ist Fellow der Geological Society of America und der Association of American Geographers. 1941 wurde er zum Fakultätsmitglied der Columbia University ernannt und war dort von 1958 bis 1967 Professor für Geomorphologie sowie von 1959 bis 1962 Direktor des Geologischen Instituts dieser Universität. Er ist Verfasser mehrerer weitverbreiteter Lehrbücher der physischen Geographie, der Umweltwissenschaften und der Geowissenschaften.

Übersetzung und deutsche Bearbeitung

Prof. Dr. phil. **FRANK AHNERT** (geb. 1927) promovierte 1953 an der Universität Heidelberg und wirkte von 1954 bis 1974 mit Forschungs- und Lehrtätigkeit an der University of Maryland und anderen amerikanischen Universitäten. 1974 bis 1993 ordentl. Professor für Physische Geographie an der RWTH Aachen (seit 1993 emeritiert). 1988 bis 1996 DFG-Fachgutachter für Physische Geographie. Forschung und Lehre vorwiegend im Bereich der Geomorphologie, sowohl mit empirischen Feldforschungen in Deutschland, Nordamerika, Nordgrönland und Ostafrika als auch mit der Entwicklung theoretischer Konzepte und Modelle. Er ist Verfasser eines Lehrbuchs der Geomorphologie und Herausgeber mehrerer anderer Werke auf diesem Fachgebiet.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5		
Danksagungen	8		
Vorwort zur 2. Auflage der deutschen Ausgabe	8		
Über die Autoren	9		
Einführung	12		
Kapitel 1			
Form und Bewegung des Planeten Erde	14		
Kapitel 2			
Erdatmosphäre und Weltmeere	36		
Kapitel 3			
Die Strahlungsbilanz der Erde	55		
Kapitel 4			
Wärme und Kälte an der Erdoberfläche	75		
Kapitel 5			
Winde und die globale Zirkulation	97		
Kapitel 6			
Atmosphärische Feuchtigkeit und Niederschlag	122		
Kapitel 7			
Luftmassen und Sturmtiefs	150		
Kapitel 8			
Globale Klimasysteme	178		
Kapitel 9			
Klima und die Wasserbilanz im Boden	199		
Kapitel 10			
Die Klimate der niederen Breiten	213		
Kapitel 11			
Die Klimate der mittleren und hohen Breiten	231		
Kapitel 12			
Das Material der Erdkruste	256		
Kapitel 13			
Lithosphäre und Plattentektonik	272		
Kapitel 14			
Vulkanische und tektonische Landformen	304		
Kapitel 15			
Die Formengestaltung der Landoberfläche durch Verwitterung und Massenbewegungen	328		
Kapitel 16			
Abfluß, Wasserläufe und Grundwasser	345		
Kapitel 17			
Vom fließenden Wasser geschaffene Landformen	377		
Kapitel 18			
Denudation und Klima	398		
Kapitel 19			
Landformen und Gesteinsstruktur	413		

Kapitel 20		Kapitel 27	
Landformen der Meeresküsten	437	Die Vegetationszonen der Erde	589
Kapitel 21		Anhang I	
Vom Wind geschaffene Landformen	459	Kartenprojektionen	614
Kapitel 22		Anhang II	
Glaziale Landformen und die Eiszeit	469	Fernerkundung für die Physische Geographie	625
Kapitel 23		Anhang III	
Bodeneigenschaften und bodenbildende Prozesse	505	Definitionen und Grenzen der Klimate	648
Kapitel 24		Anhang IV	
Die Böden der Welt	522	Das Lesen topographischer Karten	650
Kapitel 25		Anhang V	
Energieflüsse und Stoffkreisläufe in der Biosphäre	548	Unterordnungen der US-Boden-taxonomie	661
Kapitel 26		Ergänzende Literatur	665
Grundlagen der Biogeographie	572	Register	671

Einführung

Die Umwelt des Menschen

Die *physische Geographie* ist ein Zweig der Wissenschaft, der wichtige Elemente der physischen Umwelt des Menschen zusammenbringt und zueinander in Beziehung setzt. Der Stoff, mit dem sich die physische Geographie befaßt, kommt aus mehreren Naturwissenschaften, darunter Wissenschaften der Atmosphäre (Meteorologie, Klimatologie), der Meere (Ozeanographie), der festen Erde (Geologie), der Landformen (Geomorphologie), der Böden (Bodenkunde) und der Vegetation (Pflanzenökologie, Biogeographie). Aber die physische Geographie ist viel mehr als eine Sammlung von Themen, die aus anderen Wissenschaften herbeigezogen werden; sie webt diese Informationen zusammen zu Geflechten der Wechselwirkung mit den Menschen – auf eine Weise, die in keiner der beitragenden Wissenschaften so ausgedrückt wird. Als ein Zweig der Geographie betont die physische Geographie auch die räumlichen Beziehungen – die systematische Anordnung der Umweltelemente in Regionen auf der Erdoberfläche – und die Gründe für diese räumlichen Verbreitungsmuster.

Die Lebensschicht

Den räumlichen Kernbereich der physischen Geographie bildet die *Schicht des Lebens* auf der Erde, eine wenig tiefe Hülle, welche die Landgebiete und Meere umfaßt und als *Biosphäre* den größten Teil allen organischen Lebens enthält. Die Qualität dieser Schicht ist ein wesentlicher Forschungsgegenstand für die physische Geographie; mit „Qualität“ ist hier die Summe aller physischer Faktoren gemeint, welche diese Schicht für alle Formen des Pflanzen- und Tierlebens bewohnbar machen, ganz besonders aber für die Menschen.

Die Qualität der physischen Umwelt auf den Landgebieten der Erde wird bestimmt von Faktoren, Kräften und Zufuhren, die sowohl von der Atmosphäre darüber als auch von der festen Erde darunter kommen. Die *Atmosphäre*, eine Gashülle, wel-

che die feste Erde umgibt, diktiert das Klima, das den Austausch von Wärme und Wasser zwischen Atmosphäre und Erdboden steuert. Außerdem liefert die Atmosphäre lebenswichtige Elemente – Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff – die für die Erhaltung allen Lebens auf den Landgebieten nötig sind.

Die feste Erde oder *Lithosphäre* stellt die stabile Plattform für die Biosphäre dar; Landformen kennzeichnen die Gestalt der Landoberfläche. Diese Komponenten der Landschaft – Berge, Hügel und Ebenen – geben der physischen Umwelt eine weitere Dimension und bieten den Pflanzen unterschiedliche Standortbedingungen. Die feste Erde ist auch der primäre Lieferant vieler Nährstoffelemente, ohne welche Pflanzen und Tiere nicht leben können. Diese Elemente gehen vom festen Gestein in die seichte Bodenschicht über und werden dort in Formen festgehalten, die von Organismen verwertbar sind.

Wasser, ein weiteres wesentliches Material für das Leben, reicht durch die Biosphäre in die darüberliegende Atmosphäre und in die darunterliegende feste Erde. In allen seinen Formen bildet das Wasser auf der Erde die *Hydrosphäre*. Die in diesem Buch behandelte physische Geographie kann im weitesten Sinne beschrieben werden als Untersuchung der Atmosphäre, Hydrosphäre und Lithosphäre in Beziehung zur Biosphäre.

Natürliche Systeme in der physischen Geographie

Um die Aktivitäten und Veränderungen zu verstehen, die überall innerhalb der Lebensschicht stattfinden, muß der physische Geograph in Vorstellungen von Fließsystemen der Materie und der Energie denken. Jedes Fließsystem besteht aus miteinander verbundenen Pfaden, auf denen sich Materie, Energie oder beide zusammen kontinuierlich bewegen. Die meisten der Systeme, mit denen sich die physische Geographie befaßt, werden von Sonnenenergie angetrieben und betreffen Luft, Wasser, Mineralstoffe oder lebende Organismen. Diese Kon-

zepte werden in den frühen Kapiteln des Buches erklärt, gefolgt in späteren Kapiteln von Beispielen natürlicher Systeme anhand schematischer Fließdiagramme.

Eine Umweltwissenschaft

In ihrem Zusammenwirken bestimmen die Zufuhren von Energie und materiellen Substanzen aus der Atmosphäre und der festen Erde in die Lebensschicht die Qualität der Umwelt und den Reichtum oder die Armut des davon abhängigen organischen Lebens. Daher ist physisch-geographisches Verständnis äußerst wichtig für die Planung von Projekten, die das Überleben der sich rasch vermehrenden Erdbevölkerung sichern sollen. Das Überleben hängt nicht nur davon ab, wieviel Trinkwasser und Nahrung zur Verfügung steht; es wird auch davon abhängen, ob die Umwelt vor Verschmutzungen und Zerstörungen bewahrt bleibt, welche die Kapazität der Landoberfläche vermindern, diese lebensnotwendigen Substanzen zu liefern.

Damit wird ein weiteres wichtiges Ziel der physischen Geographie angesprochen, nämlich die Bewertung des Drucks, den die Menschen auf ihre natürliche Umwelt ausüben. Viele Personen halten Umweltwissenschaft, die Untersuchung der Wechselwirkung zwischen den Menschen und ihrer Umwelt, die heute weithin Aufmerksamkeit hervorruft, für eine neue Disziplin. Tatsächlich haben physische Geographen schon seit vielen Jahrzehnten Umweltwissenschaft betrieben. Die physische Geographie hat stets den Kernbereich von Umweltuntersuchungen gebildet, weil sie in hohem Maße zur Wechselwirkung zwischen den Menschen und ihrer Umwelt hin orientiert ist.

Ein Plan für das Studium

In diesem Buch beginnt das Studium der physischen Geographie mit der Atmosphäre und der Art und Weise, in der sie Licht, Wärme und Wasser für die Lebensschicht liefert. Es folgt eine Untersuchung des Klimas; dabei werden die Hintergrundkenntnisse für eine Untersuchung der Umweltregionen der Erde erarbeitet. An jenem Punkt gilt die Aufmerksamkeit auch der Hydrosphäre, und das Konzept einer globalen Wasserbilanz wird vorgestellt.

Die von Ort zu Ort existierenden Unterschiede der Verfügbarkeit von Wasser für Pflanzen werden auf der Basis des Bodenwasserhaushalts untersucht, eines Bilanzsystems, auf dem eine rigorose und nützliche Klimaklassifikation aufgebaut werden kann.

Als nächstes folgt das Studium der festen Erde oder Lithosphäre, beginnend mit den verschiedenen Mineralen und Gesteinen, aus denen sich die Erdkruste zusammensetzt. Dann wird das globale System der Lithosphärenplatten und ihrer Wirkung aufeinander im Rahmen der modernen Theorie der Plattentektonik untersucht. Die Wechselwirkungen zwischen den Platten bestimmen in hohem Maße die großen Linien der Verbiegung und des Bruchs von Gesteinen der Kruste sowie das Auftreten langer Reihen von Vulkanen. Tektonische und vulkanische Aktivitäten, welche die jungen Gebirgsketten der Erde gehoben bzw. aufgebaut haben, erhalten ihre Energie aus dem Erdinnern, erzeugt durch radioaktiven Zerfall von Gestein. Diese endogenen (= von innen kommenden) Kräfte erzeugen ihre eigenen besonderen Landformtypen.

Die nächste Gruppe von Kapiteln befaßt sich mit den von Sonnenenergie angetriebenen Prozessen, welche die Landformen der Erdoberfläche gestalten. Diese Prozesse sind Verwitterung, Massenbewegungen und die Arbeit der Flüsse, der Wellen und Strömungen, des Gletschereises und des Windes.

Es folgen Kapitel über besondere Aspekte der Biosphäre. Zuerst werden die Eigenschaften der Bodenschicht und die verschiedenen an der Landoberfläche auftretenden Böden vorgestellt. Danach kommt die Untersuchung der Beziehungen zwischen Organismen und ihrer jeweiligen Umwelt – ein Teil der Wissenschaft Ökologie, welche die Transfers von Materie und Energie durch die Biosphäre erforscht. Biogeographie, ein Zweig der physischen Geographie, fügt das Verständnis der globalen Verbreitungsmuster natürlicher Vegetationstypen – wie z.B. Wälder und Grasländer – in ihrer Beziehung zu Klima und Boden hinzu.

KAPITEL 1

Form und Bewegung des Planeten Erde

Das Bemühen um Verständnis der physischen Umwelt des Menschen beginnt mit Fragen, die in den Bereich der Astronomie führen. Grundlegend für die Steuerung der Umweltbedingungen sind zwei Fakten: erstens die annähernd kugelförmige Gestalt der Erde und zweitens die Drehung der Erde um ihre Achse sowie ihr Umlauf in einer fast kreisförmigen Bahn um die Sonne.

In unserem Zeitalter künstlicher Erdsatelliten ist die Kugelgestalt der Erde eine so selbstverständliche Tatsache, daß es schwerfällt, sich in jene alten Zeiten zu versetzen, als Größe und Form der Erde völlig unbekannt waren. Den Seefahrern jener Zeit auf dem Mittelmeer erschien das Meer außerhalb der Sicht des Landes als eine vollkommen ebene Fläche, scheinbar begrenzt von einem kreisförmigen Horizont. Aus dieser Wahrnehmung könnten sie die Vorstellung abgeleitet haben, daß die Erde die Gestalt einer flachen Scheibe habe, an deren Rand ihre Schiffe hinunterfallen würden, wenn sie dorthin kämen. Aber schon damals konnten die Seeleute optische Erscheinungen bemerken, die darauf hindeuteten, daß das Meer keine ebene Fläche ist, sondern nach aufwärts konvex gewölbt ist wie ein kleiner Teil einer Kugeloberfläche. Selbst ohne optische Instrumente beobachten wir auch, daß nach Sonnenuntergang oder vor Sonnenaufgang hohe Wolken und Berggipfel von der Sonne beleuchtet werden, und gewinnen dadurch den Eindruck, daß sich die Erdoberfläche von unserem Standort weg nach abwärts krümmt.

Beweis für die Kugelgestalt der Erde

Ein strenger und überzeugender Beweis dafür, daß die Erde kugelförmig ist, ist nicht so leicht zu führen, wie es scheinen mag, wenn wir uns auf diejenigen Beobachtungen beschränken, die den Menschen vor Beginn des Satellitenzeitalters möglich waren. Als zum Beispiel einige Überlebende der Mannschaft von Magellan auf ihrer Entdeckungsexpedition 1519–1522 erstmals die Erde umsegelt hatten und zu ihrem Ausgangspunkt in Spanien zurückgekehrt waren, hatten sie nicht, wie es zunächst schei-

nen mag, die Kugelgestalt der Erde bewiesen, sondern nur, daß die Erde keine flache Scheibe mit einem scharfen Rand war, sondern ein Körper mit einer kontinuierlichen Oberfläche. Eine Weltumsegelung hätte auch auf einer würfelförmigen oder zylindrischen Erde geschehen können oder auf einer Erde von unregelmäßiger Form. Es möge daher versucht werden, mögliche Beweise der Kugelgestalt zu finden, die Beobachtern auf der Erdoberfläche zugänglich sind. Mindestens drei grundlegende Experimente können überzeugende Resultate liefern.

Die erste Beweisführung geht aus von Beobachtungen auf See. Ein Schiff, das sich von uns entfernt, scheint langsam unter dem Meeresspiegel zu versinken. Im Fernglas oder Fernrohr sieht es so aus, als ob das Meer zuerst das Deck des Schiffes überspült und dann nach und nach die Masten eintauchen. Die Erklärung liegt offensichtlich darin, daß sich die Meeresoberfläche von uns weg nach ab-

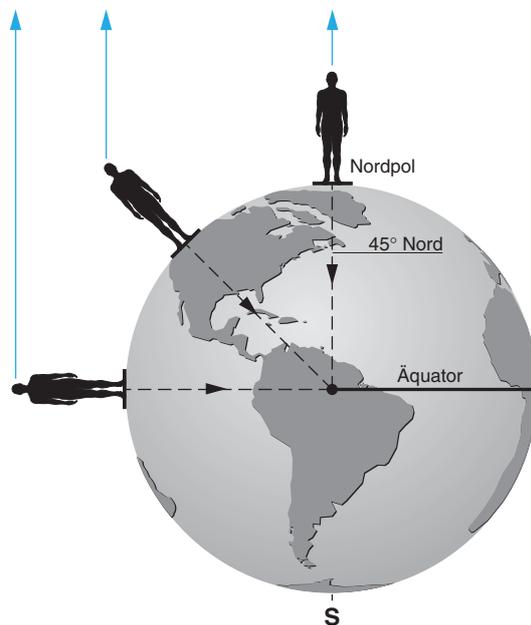


Abb. 1.1 Die Höhe des Polarsterns über dem Horizont hängt von der Lage des Beobachtungsortes auf der Nordhalbkugel ab. Wegen der großen Entfernung des Sterns von der Erde sind seine Lichtstrahlen als parallele Linien eingezeichnet.

wärts krümmt. Um zu beweisen, daß diese Krümmung sphärisch, d. h. kugelförmig ist, wären zahlreiche Beobachtungen notwendig, in denen der jeweilige Betrag des scheinbaren Absinkens eines Schiffs pro Abstandseinheit gemessen würde, in vielen verschiedenen Richtungen vom Beobachtungspunkt.

Ein zweiter Beweis ist aus der Beobachtung von Mondfinsternissen zu gewinnen. Dabei fällt der Schatten der Erde auf den Mond. Der Rand des Erdschattens erscheint als Kreisbogen auf der Mondoberfläche. Man kann durch geometrische Beweisführung zeigen, daß nur eine Kugel stets einen kreisförmigen Schatten wirft. In aufeinanderfolgenden Mondfinsternissen steht die Erde nur selten in genau derselben Position. Ganz gleich welches Profil der Erde seinen Schatten auf den Mond wirft, die Schatten bleiben immer gleich kreisförmig; daher muß die Erde kugelförmig sein.

Der dritte Beweis benutzt ein einfaches Prinzip der Astronomie, das schon im Altertum bekannt war und von den Arabern bereits im neunten Jahrhundert n. Chr. wirksam verwendet wurde. Ein Beobachter am Nordpol sieht den Polarstern stets über seinem Kopf im Zenit, weil dieser Stern in der Verlängerung der Erdachse am Himmel steht (Abbildung 1.1). Wenn der Beobachter nach Süden fährt, scheint der Polarstern seine Position in Richtung zum Horizont so zu verlagern, daß er auf halbem Wege zwischen dem Nordpol und dem Äquator, also auf 45° nördlicher Breite, in halber Höhe zwischen dem Zenit und dem Horizont steht. Wenn der Beobachter in die Nähe des Äquators kommt, findet er den Polarstern nahe dem Horizont. Eine Reihe von Messungen des Winkels zwischen dem Horizont und dem Polarstern würde ergeben, daß sich dieser Winkel für jeweils 111 km Reisedistanz auf dem Weg des Beobachters nach Südens stets um 1° vermindert. Diese Beobachtung würde beweisen, daß die Reiseroute einem Kreisbogen gefolgt ist. Wiederholung solcher Beobachtungen längs vieler verschiedener Nord-Süd-Linien (Meridiane) würde bestätigen, daß die Nordhalbkugel in der Tat eine Hälfte einer echten Kugel ist. Eine ähnliche Beobachtungsreihe könnte auf der Südhalbkugel durchgeführt werden, wobei man einen weniger auffälligen Stern über dem Südpol benutzen würde. Auf diese Weise könnte die Kugelform der Erde bewiesen werden. Tatsächlich wird dieses Prinzip bei der Navigation mit Hilfe der Sterne benutzt. Die genaue Position von Schiffen auf dem Meer ist seit Jahrhunderten unzählige Male mit dieser elementaren Methode bestimmt worden – eine unzweifelhafte Bestätigung für die Kugelgestalt der Erde.

Messung des Erdumfangs

Schon bei den alten Griechen glaubten Gelehrte, daß die Erde eine Kugel sei. Pythagoras (540 v. Chr.) und Zeitgenossen des Aristoteles (384–322 v. Chr.) waren dieser Auffassung. Sie stellten auch Vermutungen über die Größe des Erdumfangs an, aber mit sehr fehlerhaften Schätzungen. Dies blieb so bis etwa 200 v. Chr., als Eratosthenes, der Leiter der Bibliothek in Alexandria (Ägypten), eine direkte Messung des Erdumfangs auf der Basis eines zweiten Prinzips der Geometrie durchführte. Er beobachtete nämlich, daß an einem bestimmten Tag des Jahres (nahe der Sommersonnenwende am 21. Juni) in Syene, einer weit im Süden am oberen Nil gelegenen Stadt, die Strahlen der Mittagssonne sich direkt in einem tiefen Brunnen spiegelten. In anderen Worten, die Sonne stand dort am Mittag im Zenit, und ihre Strahlen fielen senkrecht auf die Erdoberfläche (Abbildung 1.2). Am selben Tag wichen die Strahlen der Mittagssonne in Alexandria um einen Winkel von einem Fünfzigstel des Vollkreises oder etwa $7,2^\circ$ von der Senkrechten ab.

Eratosthenes brauchte nun nur noch die Nord-Süd-Distanz zwischen Syene und Alexandria zu kennen, um den Erdumfang zu berechnen: Er würde einfach diese Distanz mit 50 multiplizieren, um den Umfang zu erhalten. In jener Zeit waren die Distanzen zwischen den Städten nur grobe Schätzungen

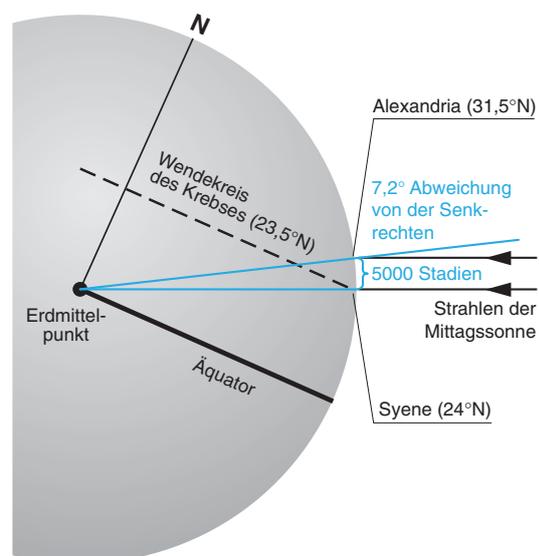


Abb. 1.2 Die Methode des Eratosthenes für die Messung des Erdumfangs.

16 Form und Bewegung des Planeten Erde

aufgrund der Berichte von Reisenden. Eratosthenes nahm an, die Distanz sei 5 000 Stadien. Es ist nicht sicher bekannt, wie genau diese Annahme der Wirklichkeit entsprach, weil wir nicht wissen, welches „Stadium“ er als Längeneinheit benutzte. Wenn es das attische Stadium war, das 185 m entspricht, dann wäre der berechnete Erdumfang etwa 46 000 km. Wenn man bedenkt, daß der wahre Erdumfang 40 000 km beträgt, ist diese Bestimmung erstaunlich genau.

Ausgehend von dem klassischen Experiment des Eratosthenes ist es ein einfacher Schritt zur Entwicklung einer astronomischen Methode für die Bestimmung der Gestalt der Erde mit Hilfe von Sternpositionen anstelle der Sonne. Dazu braucht man nur eine Nord-Süd-Linie, deren Länge auf ebenem Gelände direkt vermessen werden kann. Sie sollte mehrere Zehner von Kilometern lang sein. An beiden Enden dieser Linie wird die Höhe irgendeines ausgewählten Sterns über dem Horizont zur Zeit seines Höchststandes in Winkelgrad gemessen, oder seine Abweichung von der Senkrechten, wobei ein Lot eine echte senkrechte (und damit auch eine waagerechte) Meßbasis-Linie liefert. Genau diese Prozedur wurde anscheinend im neunten Jahrhundert n.Chr. von den Arabern benutzt. Ihre Messungen waren wahrscheinlich sehr viel genauer als die des Eratosthenes, doch kann ihre Arbeit heute nicht nachgeprüft werden, da die Größen ihrer Maßeinheiten nicht bekannt sind.

Nach der Zeit des Eratosthenes blieb die westliche Wissenschaft viele Jahrhunderte lang in einem Zustand der Stagnation. Dann, etwa 1615, entwickelte Willebrord Snell, ein Professor für Mathematik an der Universität Leiden, Verfahren für die präzise Vermessung von Distanzen und Winkeln, welche er auf die Bestimmung des Erdumfangs anwandte. Seine Arbeit kündigte die Ära der wissenschaftlichen Geodäsie an („Geodäsie“ kommt aus dem Griechischen und bedeutet soviel wie „die Erde teilen“) und führte zu bemerkenswert genauen Vermessungen des Erdkörpers etwa ein Jahrhundert später.

Die Schwerkraft in der Umwelt

Für das Leben auf der Erde hat deren annähernde Kugelgestalt eine signifikante Bedeutung wegen ihres Einflusses auf die irdische Schwerebeschleunigung, kurz Schwere genannt. Gemeint ist damit die Kraft, welche auf eine Masseneinheit an der Erd-

oberfläche einwirkt, mit der Tendenz, diese Masse in Richtung zum Erdmittelpunkt zu ziehen. Die irdische Schwere ist ein spezieller Fall des Phänomens der Gravitation, der gegenseitigen Anziehung zweier beliebiger Massen – speziell insofern als die irdische Schwere sich auf eine Masseneinheit bezieht, welche im Vergleich zur Masse der Erde so klein ist, daß die Anziehung der Erde durch die Masseneinheit vernachlässigt werden kann. Die gravitative Anziehung zwischen zwei Massen ist dem Quadrat der Distanz zwischen den Zentren der beiden Massen umgekehrt proportional. Die auf ein Massenpartikel einwirkende irdische Schwere hängt daher ab von der Distanz zwischen diesem Massenpartikel und dem Mittelpunkt der Erdmasse, der seinerseits nahe am geometrischen Erdmittelpunkt liegt.

Es sei in diesem Zusammenhang daran erinnert, daß in der Geometrie eine Kugel als ein Körper definiert wird, auf dem alle Punkte der Oberfläche gleich weit von einem gemeinsamen Punkt entfernt sind, nämlich vom Mittelpunkt der Kugel. Deshalb hat die Schwere an allen Punkten der Erde in Meeresspiegellhöhe nahezu die gleiche Größe. Diese Tatsache ist von fundamentaler Bedeutung für alles Leben auf der Erde. Dessen Entwicklung begann vor ungefähr einer Milliarde Jahren und fand statt unter dem Einfluß der überall gleich großen Schwere, die wahrscheinlich auch über diese lange Zeit hinweg ihre Größe kaum veränderte. Die Schwere bildet daher den „kleinsten gemeinsamen Nenner“ der Umwelt auf unserem Planeten.

Als Umweltfaktor wirkt die Schwere in vielerlei Weise. Sie trennt Substanzen verschiedener Dichte in Schichten, jene mit der geringsten Dichte zuoberst, die dichteste zuunterst. Luft, flüssiges Wasser und Gestein sind wegen ihrer Reaktion auf die Schwere entsprechend ihrer Dichte angeordnet. Infolgedessen liegt die Schicht des Lebens im Grenzbereich zwischen Atmosphäre und Ozean und zwischen Atmosphäre und fester Landoberfläche.

Bäume, Tiere, Felswände und die Bauwerke des Menschen müssen fest genug sein, um der Schwerkraft zu widerstehen, unter deren Wirkung sie sonst zusammenbrächen bzw. zerdrückt würden. Wäre die Schwere schwächer, dann könnten solche Gebilde höher sein oder bei ihrer gegenwärtigen Größe aus schwächerem Material bestehen. Die Schwere liefert die Kraft für wichtige physikalische Systeme in der Umwelt, insbesondere für Flüsse und Gletscher, die das Land erodieren. Um die Bedeutung der Schwere als Umweltfaktor einzuschätzen, braucht man nur darüber nachzudenken, was geschehen würde, wenn ihr Einfluß verschwände und statt-

dessen ein Zustand der Schwerelosigkeit herrschen würde. Dann würde die Umwelt in kurzer Zeit total zerstört werden.

Es gibt sehr kleine systematische Unterschiede des Betrags der Schwere von Ort zu Ort auf der Erde. Am Äquator ist sie ein wenig kleiner als an den beiden Polen; auch nimmt sie etwas mit zunehmender Höhe über dem Meeresspiegel ab. Aber in der allgemeinen Praxis kann die Schwere auf der ganzen Erde als konstant aufgefaßt werden.

Die Konstanz der Schwere an der Erdoberfläche ließe sich verwenden, um in einem Experiment die Kugelgestalt der Erde nachzuweisen. Wenn Newtons Gravitationsgesetz gültig ist, dann muß ein gegebener Gegenstand an allen Orten der Erdoberfläche dasselbe Gewicht besitzen. Ausgerüstet mit einer Federwaage könnte man zu vielen Orten auf der ganzen Erde reisen und immer wieder eine kleine Masse aus Eisen wägen und das Gewicht registrieren. Wenn die gemessenen Werte unverändert gleich bleiben, dann könnte man schließen, daß alle Messungen an Punkten vorgenommen wurden, die den gleichen Abstand vom Zentrum der Erdmasse haben und deshalb auf einer Kugelfläche liegen. Tatsächlich ausgeführt, mit großer Genauigkeit und hochentwickelten Instrumenten, hat ein solches Experiment gezeigt, daß die wahre Gestalt des Erdkörpers ein wenig von der perfekten Kugelform abweicht.

Die Erde als abgeplatteter Rotationsellipsoid

Im Jahre 1671 sandte Ludwig XIV. den französischen Astronomen Jean Richer zur Insel Cayenne in Französisch-Guayana, um dort astronomische Beobachtungen anzustellen. Zu diesem Zweck nahm Richer eine Präzisionsuhr mit, deren 1 m langes Pendel in Paris genau im Sekundentakt schwang (wenn ein Pendel verkürzt wird, schlägt es schneller, wird es verlängert, langsamer). Nach seiner Ankunft in Cayenne, das nahe dem Äquator liegt, bemerkte Richer, daß die Uhr pro Tag etwa zweieinhalb Minuten nachging. Als 1687 Newtons Gesetze der Gravitation und der Bewegung veröffentlicht wurden, war es möglich geworden, die Verlangsamung der Uhr auf einen geringeren Wert der Schwerkraft nahe dem Äquator zurückzuführen. Dies wiederum legte die Vermutung nahe, daß die Erdoberfläche in der Nähe des Äquators vom Erdmittelpunkt weiter entfernt war als in nördlicheren Regionen.

Genauere Messungen haben seitdem bestätigt, daß die wahre Form der Erde einer Kugel entspricht, die längs ihrer Polachse zusammengedrückt wurde und am Äquator leicht herausgewölbt ist. Diese Form wird als *Rotationsellipsoid* bezeichnet. Ein Querschnitt, der durch die Pole gelegt wird, ergibt eine *Ellipse* statt eines Kreises. Der Äquator bleibt ein Kreis und ist der größte mögliche Umfang des Ellipsoids. Grund für diese Abplattung der Erde ist die von der Erdrotation hervorgerufene Zentrifugalkraft, welche der in gewissem Grad plastischen Erde eine Form gibt, bei der sich die Kräfte der Schwere und der Rotation im Gleichgewicht befinden.

Auf ganze Kilometer abgerundet beträgt der Erddurchmesser am Äquator 12 756 km, während die Polarachse 12 714 km lang ist. Die Differenz beträgt also etwa 43 km. Die *Abplattung* des Erdellipsoids ist das Verhältnis dieser Differenz zum Äquatordurchmesser, d. h. etwa $43/12\,756$ oder ungefähr $1/300$. Man kann daher sagen, daß die Erdachse etwa um ein Dreihundertstel kürzer ist als der Äquatordurchmesser. Aus dem letzteren errechnet sich der Äquatumfang als etwa 40 075 km. Für grobe Abschätzungen ist der Wert von 40 000 km genau genug.

Große und kleine Kreise

Für viele Themen der physischen Geographie kann die Erde als echte Kugel aufgefaßt werden. So kann z. B. die Abplattung an den Polen vernachlässigt werden, wenn es darum geht, die Wirkung der Sonnenstrahlen auf die sich drehende Erde zu verstehen.

Wird eine Kugel genau von einer Ebene halbiert, dann geht die Schnittfläche durch den Kugelmittelpunkt, und die Linie, an der diese Schnittfläche die Kugeloberfläche schneidet, bildet den größten Kreis, den man auf der Kugel zeichnen kann. Ein solcher Kreis heißt *Großkreis*. Alle Kreise, deren Ebene nicht durch den Kugelmittelpunkt hindurchgehen, sind kleiner als Großkreise und heißen daher *Kleinkreise*.

Großkreise sind wichtig für die Navigation. Wann immer Schiffe zwischen Häfen, die weit voneinander liegen, über große Ozeanflächen fahren müssen oder wann immer Flugzeuge große Distanzen zurücklegen müssen, ist es im Interesse der Treibstoff- und Zeitersparnis am günstigsten, einem Großkreiskurs zu folgen – vorausgesetzt natürlich, daß keine Hindernisse oder andere negative Fakto-

18 Form und Bewegung des Planeten Erde

ren die Nutzung des Großkreises versperren. Navigatoren benutzten früher z.T. spezielle Typen von Karten (sogenannte *Great-circle sailing charts*, zu deutsch Großkreis-Segelkarten, mit gnomonischer Projektion hergestellt), auf denen Großkreise stets als gerade Linien erscheinen. Um den kürzesten Weg zwischen zwei beliebigen Punkten einzutragen, zieht der Navigator einfach eine gerade Linie zwischen ihnen auf der Karte.

Meridiane und Breitenkreise

Die Drehung der Erde um ihre Achse liefert zwei natürliche Punkte, die Pole, auf die das *geographische Koordinatennetz* oder Gradnetz bezogen wird – ein Netz von sich kreuzenden Linien auf dem Globus, mit dessen Hilfe die Lage von Oberflächenpunkten bestimmt werden kann. Das Gradnetz besteht aus einem Satz von Nord-Süd verlaufenden Linien, welche die Pole verbinden – den *Meridianen* –, und einem Satz von Ost-West-Linien, die parallel zu Äquator verlaufen und *Breitenkreise* heißen.

Meridiane sind Großkreishälften, deren Enden am Nord- und am Südpol der Erde liegen. Zwar trifft es zu, daß einander gegenüberliegende Meridiane zusammen einen vollständigen Großkreis bilden, doch ist jeder Meridian nur ein halber Großkreis, also ein Kreisbogen von 180 Grad. Weitere Eigenschaften von Meridianen sind:

1. Alle Meridiane verlaufen genau in Nord-Süd-Richtung.
2. Die Meridiane liegen am Äquator am weitesten auseinander und laufen an den Polen in einem Punkt zusammen.
3. Auf einem Globus kann man unendlich viele Meridiane einzeichnen, so daß für jeden beliebigen Punkt auf der Erde ein Meridian existiert. Für die Darstellung auf Karten und Globen werden jedoch Meridiane in gleichen Winkelabständen voneinander ausgewählt.

Breitenkreise sind ganze Kleinkreise, deren ebene Schnittflächen parallel zur Äquatorebene im Erdkörper liegen. Sie besitzen die folgenden Eigenschaften:

1. Breitenkreise verlaufen stets parallel zueinander, zwei bestimmte Breitenkreise halten stets den gleichen Abstand voneinander.
2. Alle Breitenkreise repräsentieren echte Ost-West-Linien.
3. Breitenkreise schneiden Meridiane im rechten Winkel. Diese Beziehung trifft an jeglicher Stelle auf dem Globus zu, mit Ausnahme der beiden

Pole – und das, obwohl die nahe den Polen liegenden Breitenkreise stark gekrümmt sind.

4. Alle Breitenkreise mit Ausnahme des Äquators sind Kleinkreise; der Äquator ist insofern einmalig, als er ein vollständiger Großkreis ist.
5. Auf einem Globus kann man unendlich viele Breitenkreise einzeichnen. Daher liegt jeder Punkt auf dem Globus, mit Ausnahme des Nordpols und des Südpols, auf einem Breitenkreis.

Geographische Länge

Die Lagebestimmung von Punkten an der Erdoberfläche geschieht nach einem System, in dem die Länge von Kreisbögen entlang von Meridianen und Breitenkreisen bestimmt wird (Abbildung 1.3). Ausgehend von einem ausgewählten Meridian als Null-Linie werden die Bogenlängen ostwärts oder westwärts zu den jeweiligen Punkten gemessen.

Die *geographische Länge* eines Ortes ist der Bogen, gemessen in Grad, des Breitenkreises zwischen diesem Ort und dem *Nullmeridian* (Abbildung 1.3). Als Nullmeridian wird weltweit jener Meridian anerkannt, der durch die alte königliche Sternwarte in Greenwich bei London (England) hindurchgeht. Dieser wird daher auch oft *Greenwich-Meridian* genannt. Er hat die geographische Länge 0 Grad. Von hier wird die geographische Länge (kurz „Länge“)

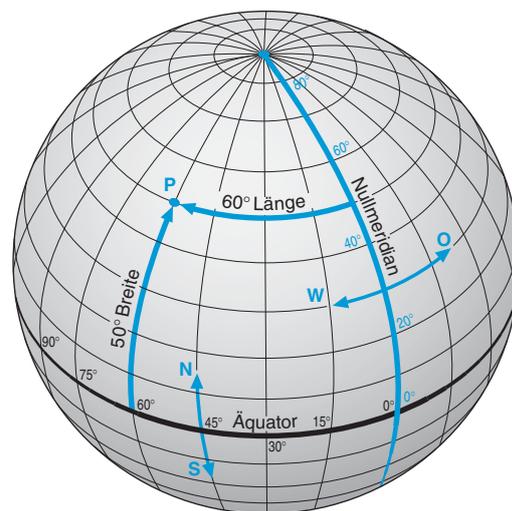


Abb. 1.3 Geographische Länge und Breite werden als Bogenlängen entlang den Breitenkreisen bzw. den Meridianen gemessen. Der Punkt P liegt auf 60° westlicher Länge und 50° nördlicher Breite.

jedes beliebigen Punkts auf dem Globus ostwärts oder westwärts gemessen, je nachdem, welcher Bogen der kürzere ist. Die geographische Länge kann daher von 0 Grad bis 180 Grad Ost oder West reichen. Sie wird gewöhnlich in Kurzform geschrieben, z. B. $77^{\circ} 03' 41''$ w.L. – oder noch kürzer $77^{\circ} 03' 41''$ W –, was zu lesen ist als „77 Grad, 3 Minuten, 41 Sekunden westlicher Länge“.

Wenn nur die geographische Länge eines Punktes angegeben ist, bleibt dessen genaue Lage noch unbestimmt, da der gesamte Meridian diese Länge besitzt. Man kann demnach einen Meridian als die Linie definieren, welche alle Punkte der gleichen Länge repräsentiert. Diese Definition erklärt, warum man oft von einem „Längenmeridian“ spricht. Es mag zunächst verwirren, daß die Länge entlang von Breitenkreisen gemessen wird; die Verwirrung wird beseitigt, wenn man sich klarmacht, daß es nötig ist, einem Breitenkreis nach Osten oder Westen zu folgen, wenn man den Bogenabstand zwischen einem Punkt und dem Nullmeridian messen will.

Die tatsächliche Länge eines Längengrades in Kilometern hängt davon ab, wo er gemessen wird. Am Äquator wird die Länge eines Grades dadurch bestimmt, daß man den Erdumfang durch 360° teilt:

$$40\,075 \text{ km} / 360 = 111 \text{ km}$$

Wegen der nordwärts und südwärts zunehmenden Konvergenz der Meridiane gilt diese Länge nur nahe am Äquator. Es ist nützlich zu wissen, daß längs des 60. Breitengrades ein Längengrad nur noch halb so lang ist, d. h. etwa 55,5 km.

Geographische Breite

Die *geographische Breite* eines Punktes ist der Bogen, ausgedrückt in Grad, des Meridians zwischen jenem Punkt und dem Äquator (Abbildung 1.3). Die geographische Breite kann daher von 0° am Äquator bis zu 90° Nord oder Süd an den Polen reichen. Die Breitenangabe eines Ortes von $34^{\circ} 10' 31''$ n.Br. – oder noch kürzer $34^{\circ} 10' 31''$ N – ist zu lesen „34 Grad, 10 Minuten und 31 Sekunden nördliche Breite“. Wenn Breite und Länge eines Ortes angegeben werden, so ist die Lage dieses Punktes relativ zum geographischen Gradnetz genau bestimmt.

Wenn die Erde eine perfekte Kugel wäre, dann wäre auch die Länge eines Breitengrads, d. h. eines ein Grad langen Meridianabschnitts, überall auf der Erde gleich. Diese Länge ist fast die gleiche wie die

Länge eines Längengrads am Äquator, so daß der Betrag von 111 km gewöhnlich auch in diesem Fall benutzt werden kann.

Wenn man ganz genau sein will, muß man die Abplattung der Erde berücksichtigen. Sie bewirkt, daß sich die Länge eines Breitengrads vom Äquator zu den Polen etwas verändert. Am Äquator beträgt sie 110,6 km, an den Polen 111,7 km. Die Länge eines Breitengrads ist also an den Polen um etwa 1 % länger als am Äquator.

Die Seemeile

Sowohl die Schifffahrt als auch die Luftfahrt verwenden die Seemeile als Längen- und Entfernungseinheit für die Navigation. Der *Knoten*, d. h. eine Seemeile pro Stunde, ist die Einheit für die Angabe der Fahrtgeschwindigkeit von Schiffen. Die Wissenschaft vom Wetter, die Meteorologie, hat den Knoten ebenfalls als Maßeinheit der Windgeschwindigkeit benutzt. Die Seemeile ist daher für Geographen eine wichtige Maß.

Ganz einfach definiert ist die *Seemeile* die Länge einer Bogenminute am Äquator der Erde. Weil die Messung dieser Länge im Laufe des letzten Jahrhunderts viele Male verbessert worden ist, wurde die genaue Länge der Seemeile ebenfalls viele Male revidiert. Wie 1954 vom US-Verteidigungsministerium übernommen, beträgt

$$1 \text{ Seemeile} = 1\,852 \text{ m.}$$

Für den gewöhnlichen Gebrauch kann die Seemeile mit 1,85 km gleichgesetzt werden.

Kartenprojektionen

Eine *Kartenprojektion* ist ein graphisches System aus Breitenkreisen und Meridianen, das als Grundlage für die Zeichnung einer Karte auf einer ebenen Fläche dient. Das grundsätzliche Problem des Kartographen besteht darin, das geographische Gradnetz von seiner tatsächlichen Kugelgestalt auf eine ebene Fläche derart zu übertragen, daß darauf die Erdoberfläche möglichst vorteilhaft für den jeweilig gewünschten Zweck dargestellt wird.

Man kann dieses Kartenprojektionsproblem nur vermeiden, wenn man einen Globus benutzt. Leider besitzt dieser aber mehrere Nachteile. Erstens kann

20 Form und Bewegung des Planeten Erde

man nur eine Seite des Globus auf einmal sehen, und zweitens hat der Globus für die meisten Zwecke einen zu kleinen Maßstab. Auf Globen mit Durchmessern von wenigen Zentimetern bis zu einem Meter können nur die größten geographischen Gegebenheiten dargestellt werden. Es existieren auch einige größere Globen von 3 bis 5 m Durchmesser, die erheblich mehr Einzelheiten zeigen. Aber diese lassen auch einen dritten Nachteil von Globen erkennen – den Mangel an Transportierbarkeit. Flache Karten, auf Papier gedruckt, können kompakt gefaltet und in eine Tasche gesteckt werden, während selbst der kleinste Globus ein sperriger und empfindlicher Gegenstand ist. Karten können leicht vervielfältigt werden, während die Herstellung eines Globus von guter Qualität nicht nur erfordert, daß eine Karte hierfür gedruckt wird, sondern daß diese auch zerschnitten und in kleinen Sektionen auf eine kugelförmige Schale geklebt wird.

Das Thema Kartenprojektionen wird im Detail im Anhang I behandelt. Mehrere nützliche Arten von Kartennetzen werden beschrieben und deren Vorteile und besonderen Eigenschaften werden erklärt. Auch finden sich dort die Beschreibungen der Kartenprojektionen, die in diesem Buch für Weltkarten verschiedener Arten von Sachinhalten verwendet worden sind.

Die Rotation der Erde

Die unterschiedlichen Umweltbedingungen des Lebens auf unserem Planeten hängen in hohem Maße von der Art ab, in der die Sonnenstrahlen auf die kugelförmige Erde fallen. Der je nach geographischer Breite und Jahreszeit verschiedene Winkel, mit dem die Strahlungsenergie der Sonne auf die Erdoberfläche trifft, bestimmt zahlreiche allgemein bekannte Erscheinungen: darunter die tägliche Bahn der Sonne über den Himmel, die sich ändernden Längen von Tag und Nacht sowie den Rhythmus der Jahreszeiten.

Diese täglichen und jahreszeitlichen Rhythmen wiederum steuern in grundlegender Weise die Lufttemperaturen, die Winde, die Meeresströmungen, die Niederschläge und Unwetter, kurz alles, was insgesamt die verschiedenen Klimate der Erde ausmacht.

Um die Beziehungen zwischen Erde und Sonne zu verstehen, muß man in drei Dimensionen denken. Man muß sich eine kugelförmige Erde vorstellen, die sich wie ein Kreisel um ihre Achse dreht,

sich aber zugleich in einer kreisförmigen Bahn um die Sonne bewegt. Überlagert wird dieses einfache Bewegungssystem von einer Schrägstellung der Erdachse relativ zur Ebene ihrer Bewegungsbahn. Man kann dieses Erde-Sonne-System vom rein imaginären Blickpunkt eines Beobachters weit draußen im Weltraum betrachten; doch die gleichen Bewegungen müssen umgesetzt werden in das, was ein Beobachter auf der Erdoberfläche, der sich mit der Erde dreht und sich an der Schwerkraft der Erde orientiert, tatsächlich sieht.

Die Drehung der Erde um ihre eigene Achse heißt *Erdrotation*. Im Studium der Beziehungen zwischen Erde und Sonne verwendet man als Rotationsperiode den *mittleren Sonnentag*, der aus 24 mittleren Sonnenstunden besteht. Dieser Tag ist die durchschnittliche Zeit, welche die Erde benötigt, um eine vollständige Umdrehung relativ zur Sonne auszuführen.

Die Richtung der Erddrehung kann man feststellen, indem man eine der folgenden Regeln befolgt: (1) wenn man sich vorstellt, auf den Nordpol der Erde herabzublicken, dann ist die Drehung gegen den Uhrzeigersinn gerichtet. (2) Legt man den Finger auf einen Punkt auf dem Globus in Äquatornähe und drückt nach Osten, dann bringt man den Globus dazu, in der korrekten Richtung zu rotieren; dies erklärt den allgemeinen Ausdruck „ostwärtige Rotation der Erde“. (3) Die Richtung der Erdrotation ist der scheinbaren Bewegung der Sonne, des Mondes und der Sterne entgegengesetzt. Da diese sich westwärts über den Himmel zu bewegen scheinen, muß sich die Erde in ostwärtiger Richtung drehen.

Die Bewegungsgeschwindigkeit eines Punkts an der Erdoberfläche in einer Kreisbahn allein durch die Rotation wird grob berechnet, indem man den Umfang seines Breitenkreises durch 24 teilt. Daher ist am Äquator, dessen Umfang etwa 40 000 km beträgt, die ostwärtige Geschwindigkeit eines Gegenstands an der Oberfläche etwas weniger als 1 700 km pro Stunde. Auf 60 Grad geographischer Breite ist die Geschwindigkeit halb so groß oder knapp 850 km pro Stunde. An den Polen ist sie natürlich gleich null. Wir spüren diese Bewegung nicht, weil die Rotation der Erde konstant ist.

Beweis für die Erdrotation

Mehrere Jahrhunderte lang war die Suche nach einem befriedigenden Beweis dafür, daß die Erde sich dreht, ein frustrierendes Problem der Astronomie.

Astronomen, die Anhänger des ptolemäischen Systems waren und daher glaubten, daß eine feststehende Erde das Zentrum des Universums war, hatten die Wissenschaft fest im Griff – bis weit in das fünfzehnte Jahrhundert hinein, als der polnische Astronom Nikolaus Kopernikus argumentierte, daß die Erde einer von mehreren Planeten sei, die sich in Umlaufbahnen um die Sonne bewegen und dabei um ihre Achse rotieren. Die kopernikanische Theorie wurde allgemein anerkannt durch die Arbeiten eines anderen führenden Astronomen, Johannes Kepler (1571–1630), und erhielt ihre solide physikalische Grundlage durch die Anwendung der Bewegungs- und Gravitationsgesetze von Isaac Newton (1687). Newton sagte voraus, daß eine rotierende Erde die Form eines abgeplatteten Ellipsoids annehmen würde. Um 1740 hatten dann geodätische Vermessungen bestätigt, daß die Erde tatsächlich ein abgeplatteter Ellipsoid ist.

Es war schließlich ein französischer Physiker, Jean Bernard Léon Foucault, der einen so eindrucksvollen öffentlichen Nachweis präsentierte, daß selbst Laien von der Rotation der Erde überzeugt werden konnten. Seine als *Foucaultsches Pendel* bekannte Apparatur kann man heute im Gebäude der UNO in New York City und in vielen Museen und Universitäten in Betrieb sehen. Im Jahre 1851 hängte Foucault eine Kanonenkugel an einem dünnen, etwa 60 m langen Draht von der Kuppel des Panthéons in Paris. Nachdem die Kugel in Schwingungen versetzt wurde, änderte sich stetig fortschreitend die Richtung, in der sie schwang. Es wurde deutlich, daß sich die Erde drehte, daß sich diese Drehbewegung jedoch nicht auf die pendelnde Kanonenkugel übertrug. Frei von mechanischer

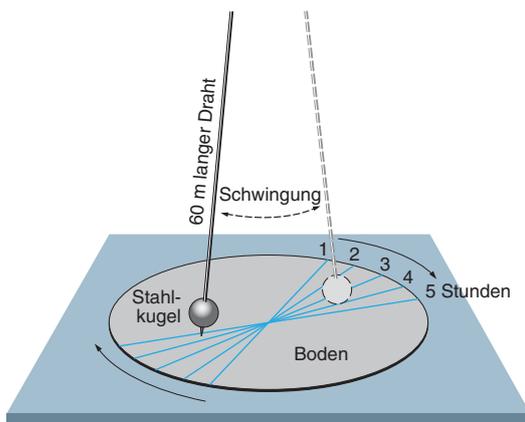


Abb. 1.4 Das Prinzip des Foucaultschen Pendels.

Tab. 1.1 Das Foucault-Pendel in verschiedenen geographischen Breiten.

Geogr. Breite	Richtungsänderung des Pendels Grad pro Stunde*)	Gesamtzeit für Richtungsänderung um 360 Grad Stunden
0°	keine	keine
15°	3,9	93
30°	7,5	48
45°	10,6	34
60°	13,0	28
75°	14,5	25
90°	15,0	24

*) Berechnung: Grad pro Stunde = $15 \times \text{Sinus der geogr. Breite}$

Kupplung mit der Erde behielt die massive Kugel ihren Weg im Raum bei, entsprechend Newtons Erstem Gesetz der Bewegung, wonach jeder Körper in einem Zustand der Ruhe oder der gleichförmigen Bewegung bleibt, wenn keine äußeren Kräfte auf ihn einwirken.

Wenn ein Foucaultsches Pendel am Nordpol in Gang gesetzt würde, dann würde seine Schwingungsrichtung im Uhrzeigersinn fortschreiten (Abbildung 1.4) und eine Änderung um 360 Grad in 24 Stunden vollziehen. Die Rate der Richtungsänderung würde dementsprechend 15 Grad pro Stunde betragen. Am Äquator dagegen würde überhaupt keine Richtungsänderung des Pendels eintreten. In den dazwischenliegenden geographischen Breiten variiert die Richtungsänderung pro 24 Stunden dementsprechend zwischen 0 Grad (am Äquator) und 360 Grad (am Pol). In New York City, bei ungefähr 40 Grad nördlicher Breite, beträgt z.B. die stündliche Richtungsänderung etwa 10 Grad, und 37 Stunden sind nötig für eine Änderung um 360 Grad. Tabelle 1.1 gibt Werte für verschiedene geographische Breiten in Intervallen von 15 Grad.

Wirkungen der Erdrotation auf die Umwelt

Die physischen und biologischen Auswirkungen der Erdrotation sind wahrlich fundamental für die Umweltprozesse der belebten Natur. Am augenfälligsten ist der Umstand, daß die Rotation vielen Erscheinungen, auf welche die Pflanzen und Tiere reagieren, einen täglichen bzw. tageszeitlichen Rhythmus auferlegt. Zu diesen Erscheinungen gehören Licht, Wärme, Luftfeuchtigkeit und Luftbewegung.

22 Form und Bewegung des Planeten Erde

Pflanzen reagieren auf den tageszeitlichen Rhythmus, indem sie Energie während des Tages speichern und nachts wieder abgeben. Tiere passen sich dem Rhythmus an, indem manche den Tag, andere die Nacht für die Nahrungssuche vorziehen. Der tägliche Zyklus der Zufuhr von Sonnenenergie und der ihm entsprechende Zyklus der Lufttemperaturen werden wichtige Themen der Analyse in den Kapiteln 3 und 4 sein.

Zweitens verursacht die Erdrotation Veränderungen in der Kompaßrichtung der Strömungen von Luft und Wasser: nach rechts auf der Nordhalbkugel und nach links auf der Südhalbkugel. Dieses unter dem Begriff Corioliseffekt bekannte Phänomen wird in Kapitel 5 untersucht.

Auch eine dritte physikalische Wirkung der Erdrotation ist von Bedeutung für die Umwelt. Da der Mond seine Schwerkraftanziehung auf die Erde ausübt und gleichzeitig sich die Erde relativ zum Mond dreht, werden Tidenkräfte erzeugt. Die Tidenkräfte bewirken einen rhythmischen Anstieg und Fall der Meeresoberfläche – die Gezeiten oder Tiden des Meeres. Diese Bewegungen wiederum verursachen Tidenströmungen in wechselnder Richtung in flachen Küstengewässern. Für einen Getreidebauern in Kansas mögen die Meereszeiten keine Bedeutung haben; aber für den Muschelsammler oder den Charterboot-Kapitän am Cape Cod ist der Zyklus der Tiden eine Uhr, die den täglichen Arbeitsplan bestimmt. Für viele Pflanzen und Tiere der Meerwasser-Ästuare sind Tidenströmungen wesentlich zur Erhaltung ihrer lebensnotwendigen Umweltbedingungen. Die Tiden und ihre Strömungen werden im Kapitel 20 behandelt.

Der Erdumlauf

Die Bewegung der Erde auf ihrer Bahn um die Sonne heißt *Umlauf*. Die Umlaufperiode, das Jahr, ist die Zeit, welche die Erde braucht, um einmal um die Sonne zu laufen. Jedoch wird das Jahr von den Astronomen in mehreren verschiedenen Weisen definiert. So heißt z.B. die Zeit, die die Erde braucht, um wieder an einen bestimmten Punkt ihrer Bahn relativ zu den Fixsternen zu gelangen, siderisches Jahr.

Für die Beziehungen zwischen Erde und Sonne verwendet man das *tropische Jahr*, das von einer Frühlings-Tagundnachtgleiche bis zur nächsten reicht. Das tropische Jahr hat eine Länge von annähernd $365\frac{1}{4}$ mittleren Sonnentagen. Alle vier

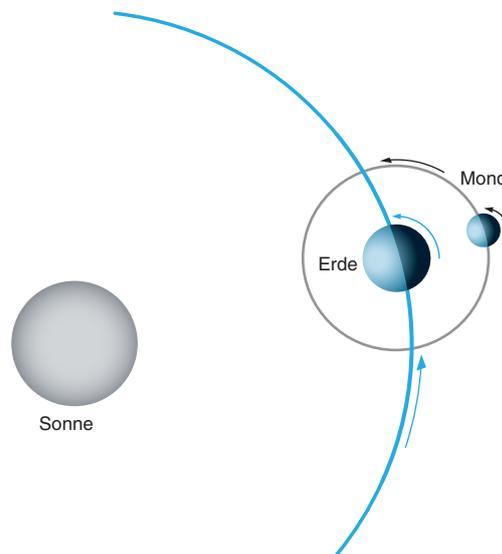


Abb. 1.5 Die Richtungen des Erdumlaufs und der Erdrotation.

Jahre summieren sich die Vierteltagsdifferenzen zwischen dem tropischen Jahr und dem Kalenderjahr von 365 Tagen zu nahezu einem ganzen Tag. Der Kalender wird relativ zum tropischen Jahr korrigiert durch die Hinzufügung eines 29. Tages im Februar in jedem Schaltjahr. Weitere kleinere Korrekturen sind nötig, dieses System zu vervollkommen.

Von einem Punkt im Weltraum über dem Nordpol aus gesehen bewegt sich die Erde in ihrer Umlaufbahn gegen den Uhrzeigersinn. Dies ist die gleiche Drehrichtung wie die der Erdrotation (Abbildung 1.5).

Perihel und Aphel

Die mittlere Entfernung zwischen Erde und Sonne beträgt etwa 150 Millionen Kilometer. Da die Erdbahn nicht kreisförmig ist, sondern elliptisch, kann die tatsächliche Entfernung um zweieinhalb Millionen Kilometer geringer oder größer sein als der Mittelwert (Abbildung 1.6). Sie ist am geringsten, ungefähr 147,5 Millionen Kilometer, etwa am 3. Januar. Zu dieser Zeit ist die Sonne im *Perihel*. Dieses Wort kommt vom griechischen *peri* (um herum oder nahe) und *helios* (Sonne). Ungefähr am 4. Juli ist die Erde am weitesten von der Sonne entfernt, im *Aphel* (von griechisch *apo* = weg von und *helios* =

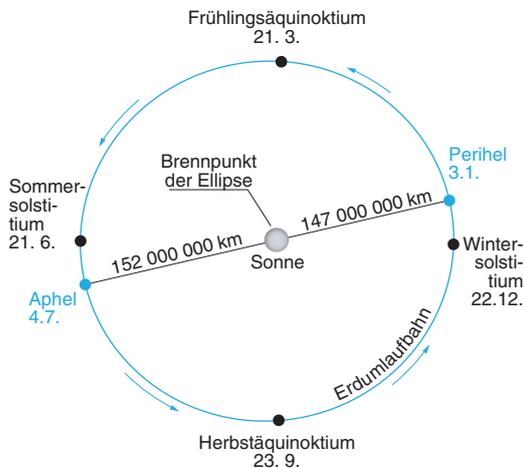


Abb. 1.6 Erdumlauf und Jahreszeiten.

Sonne), in einer Entfernung von 152,5 Millionen Kilometer.

Diese Entfernungsunterschiede verursachen geringe Unterschiede in der Menge von Sonnenenergie, welche die Erde erhält; sie sind jedoch nicht die Ursache von Sommer und Winter. Dies wird schon daher deutlich, daß das Perihel, in dem die Erde eine größere Wärmemenge empfängt, gerade in die kälteste Zeit des Jahres auf der Nordhalbkugel fällt. Da gleichzeitig auf der Nord- und Südhalbkugel jeweils entgegengesetzte Jahreszeiten herrschen, muß hierfür eine andere Ursache existieren. Die Jahreszeiten sind vielmehr eine Folge der Neigung der Erdachse.

Theoretisch betrachtet sollten jedoch die Sommer und Winter auf der Südhalbkugel ein wenig intensiver und auf der Nordhalbkugel ein wenig mäßiger sein, infolge des Zusammentreffens von Perihel und Aphel mit den jeweiligen Sommern und Wintern.

Die Neigung der Erdachse

Man stelle sich vor, die Erdachse stünde genau senkrecht zur Ebene der Erdbahn um die Sonne. Die Astronomen nennen die Ebene im Weltraum, in der die Erdbahn liegt, die *Ebene der Ekliptik*. Unter diesen imaginären Bedingungen läge der Äquator der Erde genau in der Ebene der Ekliptik. Die Sonnenstrahlen, die alle Energie für das Leben auf der Erde liefern, träfen die Erde am direktesten an einem Punkt am Äquator. Zur Mittagszeit würden die

Sonnenstrahlen am Äquator genau senkrecht zur Oberfläche der Erde einfallen. Nord- und Südpol aber würden stets gerade noch von den Strahlen gestreift. Die Verhältnisse an irgendeinem gegebenen Tag wären genau die gleichen wie an jedem anderen Tag des Jahres (wenn zugleich die Umlaufbahn kreisförmig wäre). Mit anderen Worten, es gäbe keine Jahreszeiten.

In Wirklichkeit steht die Erdachse jedoch nicht senkrecht zur Ebene der Ekliptik; sie ist um einen beträchtlichen Winkel geneigt und weicht fast genau $23\frac{1}{2}^\circ$ von der Senkrechten ab. Abbildung 1.7 zeigt die Achsenneigung in einem dreidimensionalen perspektivischen Diagramm. Der Winkel zwischen der Achse und der Ebene der Ekliptik beträgt $66\frac{1}{2}^\circ$ ($90^\circ - 23\frac{1}{2}^\circ = 66\frac{1}{2}^\circ$).

Zur weiteren Erklärung muß man die Tatsache der Achsenneigung mit einem zweiten Faktum verknüpfen: Während die Erdachse stets den Winkel von $66\frac{1}{2}^\circ$ zur Ebene der Ekliptik beibehält, behält sie zugleich eine feste Orientierung relativ zu dem Sternen. Das Nordende der Erdachse ist konstant zum Polarstern gerichtet. Um sich diese Bewegung der Erde vorzustellen, hält man einen Globus so, daß seine Achse einen Winkel von $66\frac{1}{2}^\circ$ mit der Horizontalen bildet; man bewegt nun den Globus in

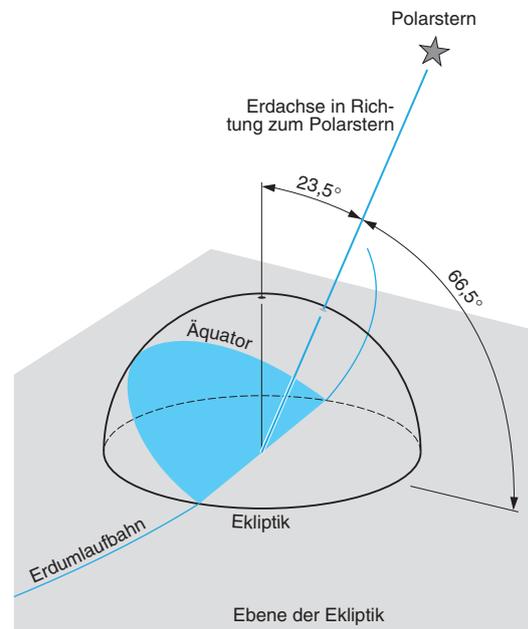


Abb. 1.7 Die Erdachse behält stets ihren Neigungswinkel von $66\frac{1}{2}^\circ$ gegen die Erdbahnebene (Ebene der Ekliptik) bei.