

Wolf Dieter Blümel

# Physische Geographie der Polargebiete

*Studienbücher der Geographie*

2. vollständig überarbeitete Auflage



Borntraeger

# Studienbücher der Geographie

früher: Teubner Studienbücher der Geographie

[www.borntraeger-cramer.de/publications/list/series/stbg](http://www.borntraeger-cramer.de/publications/list/series/stbg)

Benedikt Korf; Conrad Schetter: **Geographien der Gewalt**. Kriege, Konflikte und die Ordnung des Raumes im 21. Jahrhundert. 2015. 246 S., 23 Abb., 5 Tab. ISBN 978-3-443-07152-3 € 29.90

Baumhauer, Roland; Winkler; Stefan: **Glazialgeomorphologie**. Formung der Landoberfläche durch Gletscher. 2014. 262 S., 153 Abb., 4 Tab.; ISBN 978-3-443-07151-6 € 29.90

Kelletat, Dieter: **Physische Geographie der Meere und Küsten**. 2013. 3. neu bearb. erw. Aufl., 290 S., 234 Abb., 22 Tab.; ISBN 978-3-443-07150-9 € 29.90

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. 2010. 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

Fortsetzung auf der 3. Umschlagseite



Gebrüder Borntraeger · Stuttgart

E-mail: [mail@borntraeger-cramer.de](mailto: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](http://www.borntraeger-cramer.de/publications/list/series/stbg)

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

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](mailto:mail@borntraeger-cramer.de) <http://www.borntraeger-cramer.de>

*Studienbücher der  
Geographie*

**Blümel**  
Physische Geographie  
der Polargebiete



*Studienbücher der*  
**Geographie**

(Früher: Teubner Studienbücher der Geographie)

Herausgegeben von

Prof. Dr. Roland Baumhauer, Würzburg

Prof. Dr. Jörg Bendix, Marburg

Prof. Dr. Hans Gebhardt, Heidelberg

Prof. Dr. Paul Reuber, Münster

Die Studienbücher der Geographie behandeln wichtige Teilgebiete, Probleme und Methoden des Faches, insbesondere der Allgemeinen Geographie. Über Teildisziplinen hinweggreifende 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 Polargebiete

2. vollständig überarbeitete Auflage

von

**Wolf Dieter Blümel**

o. Professor an der Universität Stuttgart (i. R.)

Mit 109 Abbildungen und 7 Tabellen



**Borntraeger**  
Stuttgart 2015

# Blümel: Physische Geographie der Polargebiete

Wolf Dieter Blümel  
Harzbergstraße 3  
71679 Asperg  
bluemel@geographie.uni-stuttgart.de

*Gerne nehmen wir Hinweise zum Inhalt und Bemerkungen zu diesem Buch entgegen:*  
editors@schweizerbart.de

Titelbild: Die Polarstern im Oktober 1987 vor der Westküste der Antarktischen Halbinsel (Westantarktis). Foto: Blümel 1987.

2. vollständig überarbeitete Auflage: Borntraeger 2015  
1. Auflage: Teubner 1999

ISBN ebook (pdf) 978-3-443-01144-4  
ISBN 978-3-443-07153-0  
ISSN 1618-9175 (Studienbücher der Geographie)

Information on this title: [www.borntraeger-cramer.de/9783443071530](http://www.borntraeger-cramer.de/9783443071530)

© 2015 Gebr. Borntraeger Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, Germany  
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 Verlagsbuchhandlung,  
Johannesstr. 3A, 70176 Stuttgart, Germany  
mail@borntraeger-cramer.de  
www.borntraeger-cramer.de

☉ Gedruckt auf alterungsbeständigem Papier nach ISO 9706-1994

Satz: DTP + TEXT Eva Burri, Stuttgart  
Printed in Germany by: Gottlob Hartmann GmbH, Stuttgart

## Vorwort zur 2. Auflage

Seit dem Erscheinen dieses Buches im Jahr 1999 haben sich vor allem in der Arktis gravierende Veränderungen vollzogen. Sie stehen wohl weitgehend im Zusammenhang mit globalen Klima- und Umweltveränderungen (global change; global warming): Insbesondere hat die saisonale sommerliche Meereisbedeckung in den letzten Jahren dramatisch abgenommen. Dies gilt für die Fläche wie für die Dicke des Eises. Damit dürften weitere synergetische Wirkungen auf die globale Klimaentwicklung verbunden sein. Zudem eröffnen sich Perspektiven für den Schiffsverkehr am Südrand des arktischen Polarmeeres. Mit der zunehmenden Eisfreiheit und Zugänglichkeit werden Besitz- und Nutzungsansprüche in der Arktis geltend gemacht. Grönland verzeichnet in den letzten Jahren einen unerwartet heftigen Verlust an Gletschereis. Die Permafrostdegradierung in Verbindung mit Treibhausgas-Emissionen und Landschaftsveränderungen stellt ein weiteres wichtiges Thema für die globale Klimaentwicklung dar.

Demgegenüber scheinen sich die Veränderungen im Eishaushalt und periglazialen Landschaftswandel der Antarktis in Grenzen zu halten: Lediglich aus dem Bereich der Antarktischen Halbinsel mit ihren unvergletscherten Arealen werden Hinweise auf Erwärmungsprozesse wie vermehrtes Pflanzenwachstum, Permafrostabbau und regionale Gletscherschmelze gemeldet. An der Ostseite brachen zuletzt 2002 riesige Eismassen vom Larsen-Schelfeis ab. Die winterliche Meereisdecke blieb mehr oder weniger unverändert.

Die Neubearbeitung versucht, diesen und anderen aktuellen Aspekten Rechnung zu tragen. Bei den übrigen Kerninhalten zur Physischen Geographie wurden Ergänzungen vorgenommen (neuere Literatur; regionale Informationen). Die Ausstattung / Dokumentation wurde durch einige Fotos und Graphiken ergänzt.

Herrn Dr. Andreas Nägele (E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung Stuttgart, Nägele u. Obermiller) danke ich für das Angebot einer zweiten Auflage, Herrn Prof. Dr. Roland Baumhauer (Würzburg) für seine Betreuung als Herausgeber des Bandes. Herzlichen Dank für Fotovorlagen, Graphik-Dateien und Literaturhinweise schulde ich Prof. Dr. Gabriele Broll (Osnabrück); Dr. Joachim Eberle (Tübingen); Dr. Steve Grasby (London); Prof. em. Dr. Georg Kleinschmidt (Frankfurt); Dr. José L. Lozán (Hamburg) und Prof. Dr. Hans-Ulrich Peter (Jena).



# Vorwort zur 1. Auflage

Der geographische Facettenreichtum der Polarregionen hat im Laufe der letzten Jahrzehnte zu einer kaum überschaubaren Flut an Detailpublikationen geführt. Dieses Studienbuch wurde im Umfang bewusst limitiert. Es kann daher weder einen annähernd abgerundeten Forschungsstand noch einen räumlich ausgewogenen Informationskatalog bieten. Präsentiert wird eine thematisch gewichtete Selektion unter Verzicht bestimmter Teilthemen. So kommt z. B. die antarktische Fauna mit ihren publikumswirksamen Pinguin-Populationen ebenso zu kurz wie die Behandlung neuester ozeanographischer oder meeresbiologischer Forschungen. Andererseits werden Aspekte betont behandelt, die in einer ‚allgemeinen‘ Physischen Geographie vielleicht weniger erwartet werden und die bisher auch kaum überblicksartig zusammengefasst wurden: Vereisungsgeschichte der Antarktis, damit verbunden die globale Klimaentwicklung und klimatische Fernwirkungen. Es wird die Rolle der Ozeane im polaren und globalen Geschehen angesprochen und in dem Zusammenhang am Schluss die widersprüchliche Diskussion und Spekulation um ‚global change‘ und anthropogene Klimaveränderung angerissen. Des Weiteren versucht das Studienbuch, wesentlich erscheinende Zusammenhänge aufzuzeigen oder bisher in der Fachliteratur unterrepräsentierte, zu einseitig beleuchtete Themen gebührend zu behandeln.

Hauptadressaten dieser Publikation sind Studierende, Lehrer oder geographisch interessierte Leser – weniger jedoch fachspezifisch ausgerichtete Kollegen. Deshalb wird es auch im Sinne des Studienbuch-Charakters gewagt, sehr komplexe und komplizierte, didaktisch nur schwer vermittelbare Prozesse vereinfacht und modellhaft darzustellen (z.B. Kryoturbations- und Solifluktionsprozesse). Dies geschieht vor dem Hintergrund vielfältiger persönlicher Beobachtungen, eigener wissenschaftlicher Untersuchungen und genereller Erfahrungen in Teilen beider Polargebiete.

Der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) ist für die Förderung verschiedener Projekte zu danken, insbesondere für die Unterstützung eines mehrwöchigen Aufenthalts auf den Süd-Shetlands (1984), einer zweimonatigen *Polarstern*-Expedition zur Antarktischen Halbinsel (1987) und für die Finanzierung der mehrjährigen, multidisziplinären und internationalen Geowissenschaftlichen Spitzbergen-Expedition ‚Stofftransporte Land – Meer in polaren Geosystemen‘ (SPE 1990–1992), die vom Autor koordiniert und über längere Abschnitte geleitet wurde.

Herrn Dr. U. Glaser (Würzburg) bin ich – wie die etwa 150 Teilnehmer(-innen) an SPE 90-92 – zu tiefstem Dank verpflichtet für seinen unermüdlichen Einsatz in der logistischen und technischen Organisation der Spitzbergen-Expedition. Als Begleiter von Dr. Glaser konnte ich bereits 1969 in zweieinhalb Monaten intensive Geländeerfahrungen in West-Spitzbergen sammeln, angeregt und auf polare Breiten

neugierig gemacht durch meine akademischen Lehrer Prof. Dr. J. Büdel und Prof. Dr. A. Wirthmann. Zahlreichen Kollegen und Mitarbeitern bin ich für ihre Expeditions-Kameradschaft verbunden.

Herr Dipl.-Ing. J. Heinemann – Kartograph am Institut für Geographie in Stuttgart – fertigte mit großem persönlichen Engagement und geographischem Sachverstand die Druckvorlagen zu den zahlreichen Abbildungen. Letztere bilden den unverzichtbaren Grundstock wissenschaftlicher oder faktischer Aussagen des Buches. Ihm sei herzlichst gedankt. Ebenso danke ich meiner Sekretärin - Frau Carmen Rieg, die in gekonnter Manier die kamerafertige Vorlage des Textes erstellte sowie cand. Geogr. Bettina Allgaier für das Korrekturlesen.

Folgenden Kollegen und Mitarbeitern habe ich für ihre Unterstützung und Auskünfte zu danken: Dr. J. Eberle (Stuttgart), Prof. Dr. B. Eitel (Passau), Prof. Dr. D. Fütterer (AWI), Dr. H. Grobe (AWI), Dipl.-Geogr. B. Jakob (Stuttgart), Prof. Dr. G. Kleinschmidt (Frankfurt/M.), Frau Dr. U. Schauer (AWI) und Prof. Dr. D. Thannheiser. Herr Prof. Dr. E. Löffler (Saarbrücken) hat das Manuskript als Mitherausgeber der Teubner-Studienbücher durchgesehen. Ihm danke ich für seine Anregungen.

Stuttgart, im März 1999

Wolf Dieter Blümel

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort zur 2. Auflage.....	5
Vorwort zur 1. Auflage.....	7
Verzeichnis der Abbildungen.....	13
<b>1 Zur Entdeckungsgeschichte der Polargebiete .....</b>	<b>17</b>
1.1 Terra australis – ein vermuteter Südkontinent.....	18
1.2 Erkundungen der Arktis: Suche nach den Passagen .....	19
1.3 Zur wissenschaftlichen Erkundung der Polargebiete .....	22
<b>2 Abgrenzung und Flächenanteile der Polargebiete .....</b>	<b>25</b>
2.1 Astronomische Abgrenzung und Beleuchtungsverhältnisse.....	25
2.2 Geographische Abgrenzungsmöglichkeiten gegen die Mittelbreiten..	26
2.3 Allgemeine und regionale Flächenanteile der Polargebiete .....	28
<b>3 Südpolargebiet (Antarktis, Antarktika) .....</b>	<b>31</b>
3.1 Physisch-geographische Kennzeichen der heutigen Antarktis (Größenverhältnisse, Lagebeziehungen, Oberflächengestalt) .....	31
3.2 Grundzüge der erdgeschichtlichen Entwicklung .....	34
3.3 Mineralische Rohstoffe.....	39
3.4 Zur Vereisungs- und Klimageschichte der Antarktis .....	41
3.4.1 Regionale Aspekte der Vereisungsgeschichte.....	43
3.4.2 Antarktische Vereisung und Klimaschwankungen im Quartär.....	46
3.5 Klimatische Fernwirkungen der Antarktis: Paläoklimatische und aktuelle Prozesse.....	52
3.5.1 Globale Abkühlung und Aridisierung.....	52
3.5.2 Mittelmeeraustrocknung und Vereisung der Arktis .....	55
3.5.3 Eiszeiten – Warmzeiten: Ursache in den Polargebieten?.....	55

<b>4 Polarmeere: Das Meereis und seine Rolle im Klimageschehen</b> .....	57
4.1 Merkmale beider Polarmeere; Eisbildung; Rückgang des Meereises .	57
4.2 Klimawandel: Rückgang der arktischen Meereisausdehnung.....	61
4.3 Nordpolarmeer: Meeresströme, Zirkulation .....	65
4.4 Südpolarmeer: Ringstrom, Zirkulation, Polynjas .....	67
<b>5 Witterung und Klima des Südpolargebiets; klimatische Gliederung</b> ...	71
5.1 Jahres- und Monatstemperaturen in der Antarktis .....	72
5.2 Niederschlagshöhe und -verteilung .....	75
5.3 Antarktische Windsysteme .....	77
5.4 Klimatische Grobgliederung der Antarktis.....	79
<b>6 Vergletscherte und periglaziale Antarktis</b> .....	83
6.1 Aktuelle Vergletscherung, Eisbewegung, Schelfeis .....	83
6.2 Periglaziale Gebiete: Ost-Antarktis / West-Antarktis.....	93
6.2.1 Antarktische Flora (kontinentale und maritime Antarktis).....	95
6.2.2 Insolations- und Frostverwitterung in der Antarktis.....	103
6.2.3 Biogener Gesteinszersatz.....	106
6.2.4 Periglaziale Ost-Antarktis.....	108
6.2.4.1 Physikalisch-chemische Verwitterung und Boden-	
bildung.....	108
6.2.4.2 Kennzeichen ost-antarktischer Böden und	
Zersatzdecken; Permafrost .....	109
6.2.4.3 Vorzeitliche Formung und rezente geomorpho-	
logische Prozesse .....	112
6.2.5 Maritime West-Antarktis / Antarktische Halbinsel.....	117
6.2.5.1 Witterung und maritimes Klima der West-Antarktis.	117
6.2.5.2 Chemische Verwitterung und Bodenbildung.....	120
6.2.5.3 Aktuelle geomorphologische Prozesse.....	125
6.3 Anthropogene Eingriffe in antarktische Lebensräume .....	132
6.3.1 Ausbeutung mariner Ressourcen .....	132
6.3.2 Gefährdung durch Stationen und Tourismus .....	135

<b>7 Das Nordpolargebiet (Arktis)</b> .....	139
7.1 Physisch-geographische Kennzeichen und zonale Gliederung .....	139
7.2 Zur geologischen Entwicklung des Nordpolargebietes .....	143
7.3 Mineralische Lagerstätten und Energierohstoffe; Nutzungsprobleme	146
7.4 Rohstoffnutzung: Politische Konflikte in der Arktis .....	149
7.5 Zur Vereisungs- und Klimageschichte der Arktis .....	151
7.5.1 Jungtertiärer Vereisungsbeginn in der Arktis .....	151
7.5.2 Jungquartäre Vereisung und Deglaziation; Klimawandel und Klimasprünge .....	154
7.5.3 Isostatische Landhebung: Regionale Befunde aus Kanada und Grönland .....	160
7.5.4 Holozäne Gletscher- und Klimaschwankungen .....	162
7.6 Klimatische Grundzüge des Nordpolargebietes .....	165
7.7 Permafrost: Verbreitung, vertikale Gliederung, Degradation .....	174
7.7.1 Klimatische Verbreitung, Typisierung, vertikale Gliederung ..	174
7.7.2 Permafrost-Degradation: Aktueller Klima- und Landschafts- wandel .....	184
7.7.3 Permafrost: Infrastruktur- und Nutzungsprobleme .....	190
7.8 Zur aktuellen Vergletscherung des Nordpolargebietes; Vergletscherungstypen .....	193
7.8.1 Arktisches Inlandeis und Plateauvergletscherungen .....	194
7.8.2 Untergeordnete Vergletscherung: Eisstromnetze, Tal- und Kargletscher .....	198
7.8.3 Grönland: Aktuelle Gletscherschmelze .....	200
 <b>8 Periglaziale Arktis</b> .....	 203
8.1 Bodenbildung und Bodentypen in der Arktis .....	203
8.2 Tundren – Kennzeichen arktischer Vegetation .....	211
8.3 Geoökologische Aspekte und ökologische Jahreszeiten .....	221
8.4 Periglaziale geomorphologische Prozesse und Oberflächenformen....	223
8.4.1 Denudative und quasi-stationäre Prozesse .....	224
8.4.1.1 Formen der Materialsortierung und Kryodynamik (Kryoturbation) .....	224
8.4.1.2 Soliflukationsprozesse; Arten der Solifluktion .....	230

8.4.1.3	Ablation (Abspüldenudation) und Deflation .....	237
8.4.1.4	Hangentwicklungsprozesse unter periglazialen Bedingungen.....	239
8.4.1.5	Glossar zu weiteren perglazialgeomorphologischen, hydrologischen und biotischen Formen in arktischen Tundren und Kältewüsten.....	244
8.4.2	Flüsse und fluviale Formung in Polargebieten .....	247
8.5	Arktische Völker und Naturraum; Ausbeutung der Meere .....	256
<b>9</b>	<b>Ausblick</b> .....	263
	Literatur.....	269
	Sachbücher/Expeditionsberichte/Belletristik .....	289

# Verzeichnis der Abbildungen

Abb. 1:	Tages- und Nachtlängen auf der Nord- und Südhalbkugel.....	26
Abb. 2:	Vegetationsgeographische Zonierung und 10 °C-Juli-Isotherme der Nordpolarkalotte .....	29
Abb. 3:	Antarktika mit Inlandeis, Schelfeis, Ringstrom und Maritimer Antarktis.....	32
Abb. 4:	Antarktis-Übersichtskarte (mit im Text verwendeten Namen, topographischen Hinweisen, Höhenangaben).....	33
Abb. 5:	Der geologische Bau der Antarktis .....	35
Abb. 6:	Geologischer Querschnitt durch das Transantarktische Gebirge .....	37
Abb. 7:	Sauerstoffisotopenkurve für subantarktische Planktonorganismen des Känozoikums.....	45
Abb. 8:	Antarktisches Inland- und Meereseis: Heutiger und Ross-eiszeitlicher Zustand (= Weichsel-/Würm-Eiszeit) .....	46
Abb. 9:	Übersichtskarte der Süd-Shetland-Inseln.....	48
Abb. 10:	Hope Bay: Eisrückgang, Fjord, Nunataks (Foto).....	49
Abb. 11:	Isostatische Landhebung (Fildes-Halbinsel; King George Island) (Foto).....	50
Abb. 12:	Strandterrassen (Maxwell-Bucht, King George Island) (Foto).....	51
Abb. 13:	Thermohaline Schichtung und Zirkulation im Atlantik .....	53
Abb. 14:	Perennierendes und saisonales Meereseis auf der Nordhalbkugel.....	58
Abb. 15:	Entwicklung der saisonalen arktischen Meereseisbedeckung (1900–2000).....	61
Abb. 16:	Entwicklung der sommerlichen Meereseisbedeckung in der Arktis (1980–2012).....	62
Abb. 17:	Entwicklung der global gemittelten bodennahen Temperatur (1880–2012).....	63
Abb. 18:	Gemittelte Temperaturen entlang der Breitenkreise (1963–2012)...	64
Abb. 19:	Golf-Strom und Ost-Grönland-Strom .....	67
Abb. 20:	Mittlere jährliche Temperaturen der Antarktis.....	72
Abb. 21:	Monatsmitteltemperaturen und klimatische Zonierung der Antarktis.....	73
Abb. 22:	Monatsmitteltemperaturen ausgewählter antarktischer Klimastationen (Diagramm) .....	74
Abb. 23:	Antarktisches Zirkulationsmuster; Zyklonenzugbahnen .....	76
Abb. 24:	Antarktis: Schneeakkumulationen und Winterstürme.....	77
Abb. 25:	Thermoisoplethendiagramm von Macquarie Island (Subantarktis).....	80
Abb. 26:	Antarktis-Profil: Aktuelle Eisbedeckung und isostatisches Verhalten .....	84
Abb. 27:	Schematischer Schnitt durch die Fildes-Halbinsel (King George Island).....	84

Abb. 28:	Antarktis: Inlandeis, Fließrichtungen, Schelfeis, Ringstrom .....	87
Abb. 29:	Eiskliffe und Meereisschollen an der Antarktischen Halbinsel (1987) (Foto).....	88
Abb. 30:	Schematischer Schnitt durch ein Schelfeis .....	90
Abb. 31:	Schelfeis an der Nordspitze der Antarktischen Halbinsel (1987) (Foto).....	90
Abb. 32:	Prozesse am Schelfeis und Kontinentalhang während einer Warm- und einer Kaltzeit .....	92
Abb. 33:	Moostundra und Kältewüste auf Clarence und Elephant Island (Fotos) .....	100
Abb. 34:	Bewachsener Steinring; Antarktische Tundra auf saurer Braunerde (King George Island) (Fotos) .....	102
Abb. 35:	Krustenflechten und <i>Deschampsia antarctica</i> ; Strauchflechte <i>Usnea antarctica</i> (King George Island) (Fotos) .....	103
Abb. 36:	Diagramm: Temperaturen auf Gesteinsoberflächen (Schirmacher-Oase, Ost-Antarktis).....	105
Abb. 37:	Abgrusung und Absanden durch Insolationseinflüsse (Fotos).....	107
Abb. 38:	Übersichtskarte: Antarktische Halbinsel und Süd-Shetland-Inseln ..	118
Abb. 39:	Maritime Antarktis: Klimadiagramm und klimatische Kennzeichen von King George Island .....	119
Abb. 40:	Verbrauchtes Verwitterungsprofil (King George Island) .....	122
Abb. 41:	Kryomorphe Braunerde (Gelic Cambisol; King George Island) ....	123
Abb. 42:	Mitteltemperaturen im sommerlichen Auftauboden (King George Island).....	124
Abb. 43:	Kryoturbation: Steinpolygone in der Westantarktis (Foto).....	127
Abb. 44:	Solifluktionshang und Grabung in einem Solifluktionsprofil (Fotos) .....	128
Abb. 45:	Solifluktion, Ablation und sommerliche Auftautiefen (King George Island).....	131
Abb. 46:	Querschnitt durch ein periglaziales Gerinnebett .....	131
Abb. 47:	Moräne und Hangschutt an einem Basalt-Härtling (Foto).....	132
Abb. 48:	Stationen auf King George Island / Süd-Shetland-Inseln (Foto) ....	136
Abb. 49:	Mülldeponien bei antarktischen Stationen (Foto).....	137
Abb. 50:	Zonale Gliederung des Nordpolargebietes und saisonale Meereis- bedeckung .....	140
Abb. 51:	Schematisches Profil durch das Nordpolarmeer mit wichtigen Struktureinheiten .....	145
Abb. 52:	Vereisungsphasen auf der Spitzbergen-Inselgruppe innerhalb der Weichsel-Eiszeit .....	156
Abb. 53:	Rekonstruktion der Gletscherausdehnung in Nordwest-Spitz- bergen während der Weichsel-Eiszeit .....	157
Abb. 54:	Postglaziale isostatische Landhebung in der Kanadischen Arktis ...	161
Abb. 55:	Radiocarbon-Datierungen fossiler Bodenhorizonte und Gletscher- vorstöße im Jüngerem Holozän.....	163

Abb. 56:	Thermoisoplethendiagramm der Fram-Drift im Nordpolarmeer.....	166
Abb. 57:	Mittlere Januartemperaturen in der Arktis.....	167
Abb. 58:	Mittlere Julitemperaturen in der Arktis.....	167
Abb. 59:	Temperaturdiagramm ausgewählter Klimastationen in der Arktis...	169
Abb. 60:	Klimadiagramme zu verschiedenen arktischen Räumen.....	170
Abb. 61:	Sommertemperaturen und Niederschläge Nordwest-Spitzbergens (1990 und 1991).....	172
Abb. 62:	Niederschlagsverteilung auf Grönland.....	173
Abb. 63:	Verbreitung von Permafrost auf der Nordhalbkugel.....	175
Abb. 64:	Permafrost, Eiskeilverbreitung und Jahresisothermen in Alaska.....	176
Abb. 65:	Modellhaftes Temperaturprofil und Gliederung eines Dauerfrost- vorkommens.....	178
Abb. 66:	Eiskeilgenese durch Tieffrostkontraktion und Sublimationseis.....	179
Abb. 67:	Luftaufnahme eines Eiskeilnetzes (Kanadische Arktis) (Foto).....	180
Abb. 68:	Darstellung eines Eiskeilnetzes in der Kanadischen Arktis.....	181
Abb. 69:	Schematisiertes Profil durch die Permafrostzone Kanadas.....	183
Abb. 70:	Degradierter Permafrost und austauendes Toteis (W-Spitzbergen 2002) (Fotos).....	185
Abb. 71:	Stelzenbauweise auf Permafrost (Foto).....	191
Abb. 72:	Mächtigkeiten des grönländischen Inlandeises, Eisscheiden und Abflussrichtungen.....	195
Abb. 73:	Schematisiertes West-Ost-Profil durch die Eiskappe Grönlands.....	196
Abb. 74:	Grönland: Abschmelzendes Inlandeis am Russel-Gletscher (östl. Kangerlussuaq; 2009) (Foto).....	197
Abb. 75:	Auslassgletscher in Nordwest-Spitzbergen (Monaco-Breen; 1990) (Foto).....	199
Abb. 76:	Teil des Eisstromnetzes Süd-Spitzbergens (2002) (Foto).....	199
Abb. 77:	Bodenabfolge (Catena) in Nordwest-Spitzbergen.....	207
Abb. 78:	Bodenbildung auf Grundmoränenmaterial (West-Spitzbergen).....	208
Abb. 79:	Regosol-Braunerde mit abluarer Feinmaterialüberschüttung (NW-Spitzbergen) (Foto).....	209
Abb. 80:	Gelic Andosol auf Strandterrassen-Sedimenten (West-Spitzbergen; Foto-Montage).....	210
Abb. 81:	Vegetationsmuster und Vertreter arktischer Tundrenpflanzen (Fotos).....	213
Abb. 82:	Moor, biogene Verlandung, Tundrenpflanzen (Nordwest-Spitz- bergen) (Fotos).....	214
Abb. 83:	Wipfeltischbirke in Abhängigkeit von der Schneedeckenhöhe.....	215
Abb. 84:	Vegetationstypen am Hang (Liefdefjord, Nordwest-Spitzbergen)...	217
Abb. 85:	Meeresnaher Tundrenstandort (catenare Beziehungen, ornitho- gene Einflüsse).....	218
Abb. 86:	Modell zu Frosthub und Kryoturbationsprozessen.....	225
Abb. 87:	Frostmuster-Mikropolygone (Foto).....	226
Abb. 88:	Steinring (Arktis und Antarktis) (Fotos).....	226

Abb. 89:	Grabung durch ein Steinpolygon .....	227
Abb. 90:	Nicht-symmetrische Kryoturbationsformen; Makropolygone (Fotos).....	227
Abb. 91:	Feinerdepolygone (non-sorted circles; Frostaufbrüche (Fotos).....	228
Abb. 92:	Schema der Frostwechsel-Solifluktion.....	231
Abb. 93:	Übergang von Kryoturbations- zu Solifluktionsstrukturen.....	232
Abb. 94:	Grabung durch einen Solifluktionshang mit Steinstreifen.....	233
Abb. 95:	Solifluktionshang mit Steinstreifen (Foto).....	233
Abb. 96:	Querschnitt durch Fließerdeloben (gebundene Solifluktion).....	236
Abb. 97:	Gebundene Solifluktion: Formen von Fließerdeloben (Fotos).....	236
Abb. 98:	Aktuelle spontane Rutschungen (Foto).....	237
Abb. 99:	Ablationprozesse / Abspüldenudation (Fotos).....	238
Abb. 100:	Postglaziale Hangentwicklung (Woodfjord, Adventsdalen; W-Spitzbergen) (Fotos).....	241
Abb. 101:	Periglaziale Hangtypen in Grönland.....	242
Abb. 102:	Dreiteiliger Frosthang, anastomosierender Flusslauf (Südost- Spitzbergen) (Foto).....	243
Abb. 103:	Kryostasieblock (Nordwest-Spitzbergen) (Foto).....	246
Abb. 104:	Saisonale Abflussregime (Kanada, Alaska, Spitzbergen).....	251
Abb. 105:	Feststofftransport / Drei-Jahres-Vergleich (Nordwest-Spitzbergen)	252
Abb. 106:	Anastomosierender periodischer Flusslauf (Südost-Spitzbergen) (Foto).....	255
Abb. 107:	Periglaziale Dellen / Solifluktionstälchen (West-Spitzbergen) (Foto).....	256
Abb. 108:	Nahrungskette in marinen Ökosystemen der Polargebiete.....	260
Abb. 109:	Nahrungskette der festländischen Arktis.....	260

## Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1:	Eisausdehnung und Eisdicke in Arktis und Antarktis .....	60
Tabelle 2:	Schelfeisgebiete der Antarktis.....	89
Tabelle 3:	Sommerliche Luft- und Bodentemperaturen auf der Fildes- Halbinsel (Süd-Shetland-Inseln).....	124
Tabelle 4:	Eismassenveränderungen Grönlands 1990–2008 .....	201
Tabelle 5:	Primärproduktion in unterschiedlichen Vegetationszonen.....	220
Tabelle 6:	Abfluss, Feststoff- und Lösungsfracht eines glazifluvialen Einzugsgebietes (Nordwest-Spitzbergen).....	251
Tabelle 7:	Bevölkerung der Nordpolargebiete im Jahr 2003 .....	257

# 1 Zur Entdeckungsgeschichte der Polargebiete

Dank moderner Fernerkundungsmethoden, terrestrischer Vermessung und Untergrundsondierung sind die letzten weißen Flecken auf den Landkarten nahezu verschwunden, ist zumindest die topographische Information zu den beiden Polargebieten vervollständigt worden. Dennoch schwebt ein Hauch von ‚last unknown‘, dem letzten Unbekannten, über diesen lebensfeindlichen Extremgebieten, lockt neben Wissenschaftlern vermehrt auch Touristen und Abenteurer an. Hier lassen sich offensichtlich Gelüste nach der Erkundung eigener Grenzen, nach Selbstbestätigung durch den ‚Kampf gegen die Unbilden der Natur‘, lässt sich die Jagd nach dem ‚ultimativen Kick‘ noch erfüllen. Dieser Drang nach Rekorden und Extremleistungen ist jedoch nicht neu: Die von persönlichem Ehrgeiz oder Nationalismus getriebenen Wettläufe zu den Polen um die Jahrhundertwende bis zum Ersten Weltkrieg trieben manche groteske Blüte. So das Duell zwischen den beiden Amerikanern Robert Peary und Frederick Cook in den Jahren 1908/1909, die beide behaupteten, den Nordpol erreicht zu haben. Sie bezichtigten sich zwar gegenseitig der Täuschung, doch sehr wahrscheinlich ist aber, dass keiner von beiden wirklich am Pol war. Ernsthaftige Beweise konnte jedenfalls keiner liefern; bestätigende Vermessungen wurden nicht durchgeführt. Da Peary sich auf eine mächtigere Lobby stützen konnte, erklärte ihn der amerikanische Kongress offiziell als Sieger. Erst vierzig Jahre später landeten drei russische Flugzeuge am Nordpol und bestimmten genau ihre geographische Position.

Die einschlägige Literatur über historische Expeditionen, über die geographisch-topographische Entschleierung polarer Regionen bis hin zu den aktuellen Forschungstätigkeiten füllt ganze Bibliotheken. An dieser Stelle kann nur ein fragmentarischer Überblick geboten und auf Einstiegsliteratur verwiesen werden: Lüdecke (2006) verfasste eine Übersicht über die Entdeckungsgeschichte der Antarktis; Krause (2006) über die der Arktis. Imbert (1990) hat die Entdeckungsgeschichte der Polargebiete und wichtige Expeditionen zu den Polen sehr lebendig zusammengefasst. Kosack (1967) präsentierte zahlreiche Daten zur Polarforschungsgeschichte. Bei Stäblein (1978, 1981) findet sich ein Abriss über polare Entdeckungsfahrten und wissenschaftliche Expeditionen, vor allem unter Leitung oder Beteiligung deutscher Polarforscher. Kohnen (o.J.: 50–73) widmet sich der Darstellung der jüngeren deutschen Antarktisforschung und dem Bau einer deutschen Überwinterungsstation. Eine vollständige, detaillierte Geschichte der deutschen Arktis- und Antarktisforschungen stammt von Reinke-Kunze (1992a). Stellvertretend für eine Fülle an Literatur von und über bahnbrechende Entdecker und Polarforscher seien genannt: R. Amundsen (1993): „Die Eroberung des Südpols“; Bomann-Larsen (2007 über R. Amundsen); S. A. Andrée (1930): „Dem Pol entgegen“; F. Nansen (1995): „In Nacht und Eis“; A. E. Nordeskjöld (1987): „Nordwärts. Die erste Umseglung Asiens und Europas“.

## 1.1 Terra australis – ein vermuteter Südkontinent

In der Zeit des Humanismus finden antike Texte ein neues Interesse. Landkarten, die der griechische Geograph Ptolemäus im ersten Jahrhundert n. Chr. entworfen hatte, kommen ab 1475 gedruckt in Umlauf. Sie weisen eine *terra incognita* (unbekanntes Land) ab 20° südlicher Breite aus. Es soll die *terra australis* sein, der sagenumwobene Südkontinent. Die ptolemäischen Vorstellungen bestimmen das Weltbild der Renaissance, obwohl schon bald genauere geographische Kenntnisse gewonnen werden: Vasco da Gama beweist mit der Umsegelung des Kaps der Guten Hoffnung im Jahr 1497, dass der Indische Ozean kein Binnenmeer ist. Fernão de Magalhães sucht einen westlichen Seeweg nach Indien und durchfährt 1520 die nach ihm benannte Magellan-Straße an der Südspitze Patagoniens. Das südlich liegende Feuerland hält er für den Antarktischen Kontinent. Differenzierter wird das Bild im 17. Jahrhundert mit der Umsegelung von Kap Hoorn. Feuerland erweist sich nun als eine Insel. Abel Tasman entdeckt 1642 das spätere Tasmanien und Neuseeland, bemerkt aber nicht, dass er Australien umfahren hat. Die geographische Neugier der Europäer auf den fiktiven Südkontinent erlahmt allmählich dank der inzwischen lebhaften Handelsbeziehungen mit Indien und Asien.

Erst im 18. Jahrhundert beginnt erneut die Suche nach der *terra australis incognita*. Vorstellungen tropischer, paradiesischer Fruchtbarkeit des vermeintlichen Südländes machen die Runde. James Cooks mehrjährige Reisen (1768–1771 und 1772–1775) lassen ihn bis über den südlichen Polarkreis vorstoßen und bringen damit die Ernüchterung: Es gibt offensichtlich keinen Südkontinent, allenfalls in der Nähe des (unwirtlichen) Pols.

Bevor Antarktika schließlich als Kontinent ‚offiziell‘ entdeckt wurde, waren seine umgebenden Küsten bereits ausgebeutet. Cooks Berichte lockten nämlich Robbenjäger und Walfänger in die west-antarktischen Gewässer. Sie hielten verständlicherweise ihre Erkenntnisse geheim. (Chilenische Archäologen legten 1984 auf King George Island die Reste von Walfängerhütten aus dem 18. Jahrhundert frei.) Der in russischen Diensten stehende Fabian von Bellingshausen gilt als eigentlicher Entdecker Antarktikas. Er umrundet den Kontinent und stößt 1820 im Westen auf die Peter- und die Alexander-Insel. Edward Bransfield entdeckt im gleichen Jahr die Antarktische Halbinsel. 1823 dringt James Weddell bis 74° Süd in das Gebiet der heutigen Weddell-See vor. In den folgenden Jahrzehnten werden weitere Teile Antarktikas bekannt (n. May 1988): John Biscoe sieht 1831 Enderby-Land, Charles Wilkes 1840 das spätere Wilkes-Land. Ebenfalls im Jahr 1840 stößt Jules S. Dumont d’Urville auf das Adélie-Land. Ein Jahr später durchquert James C. Ross auf seiner sensationellen Expedition den Packeisgürtel und entdeckt Victoria-Land, die Ross-Insel, Mount Erebus und das Ross-Schelfeis.

Weitere Stationen in der Erkundung der Antarktis:

- Eine deutsche Expedition unter Kapitän Eduard Dallmann entdeckt 1873 die Bismarck-Straße an der Antarktischen Halbinsel.
- 1899 überwintert die Southern Cross-Expedition am Kap Adare (Victoria-Land).
- Georg von Neumayer, Begründer der deutschen Südpolarforschung, wirbt seit langem für ein erstes *Internationales Südpolarjahr*, das auf dem Berliner Geographenkongress 1899 behandelt wird. Das Jahr 1902 wird dazu erklärt. Leiter der deutschen Expedition auf dem Forschungsschiff *Gauss* ist der Geograph Erich von Drygalski. Untersuchungen zum Magnetfeld der Erde stehen im Mittelpunkt des Programms. Mit dem ‚Südpolarjahr‘ beginnt die Ära verstärkter wissenschaftlicher Forschungstätigkeit in der Antarktis.
- 1902 versuchen R. Scott, E. Wilson und E. Shackleton erstmals, den Südpol zu erreichen, müssen aber bei 82° S umkehren.
- Ernest Shackleton unternimmt 1908 zusammen mit drei Kameraden einen neuen Versuch, der nur 180 km vor dem Ziel abgebrochen werden muss.
- Den Südpol erreicht als erster Roald Amundsen am 14. Dezember 1911, gewinnt den von nationalem Prestigegegedanken getriebenen Wettlauf gegen Robert Scott, der als zweiter am 18. Januar 1912 enttäuscht am Pol eintrifft. Auf dem Rückweg kommt Scott zusammen mit seinen Begleitern ums Leben, nur 18 Kilometer vom nächsten Depot entfernt.
- Der Deutsche Wilhelm Filchner entdeckt 1911 bei 35° W das Gegenstück zum Ross-Schelfeis – das nach ihm benannte Filchner-Schelfeis. Sein Plan, den Südpol zu erreichen, scheitert.
- 1914 schlägt der Versuch Ernest Shackletons fehl, den Kontinent zu durchqueren.

## 1.2 Erkundungen der Arktis: Suche nach den Passagen

Geographische Erkundungen und Informationen über das Nordpolargebiet waren häufig beiläufige Ergebnisse ökonomisch motivierter Schiffsexpeditionen: Es war die Suche nach einem kürzeren Seeweg nach China, die gezielte Expeditionen stimulierte. In Frage kam eine Nordwestpassage um Amerika herum in den Pazifik oder ein Weg entlang der sibirischen Küste (Nordostpassage) nach Asien. Suchexpeditionen waren schwierige und äußerst riskante Unterfangen. (Im Zuge des globalen Klima- und Umweltwandels – starker Schwund der Meereisbedeckung – löst sich gegenwärtig das Problem fast von selbst: siehe Kap 4.2)

### • Nordwestpassage

Bereits seit Beginn des 16. Jahrhunderts werden Suchfahrten nach einer Nordwestpassage organisiert. Der Florentiner Verrazano entdeckt 1524 die Mündung des Hudson Rivers; J. Cartier findet 1534 die Mündung des Sankt-Lorenz-Stroms und

stößt tausend Kilometer in das Inland vor. M. Frobisher erreicht 1576–1578 die spätere Hudson-Straße bei 60° N.

J. Davis soll 1585 für die Engländer die China-Passage finden. Er kartiert den Bereich der Davis-Straße/Baffin Bay zwischen Grönland und dem Kanadischen Archipel. Frühes Packeis verhindert die weitere Erkundung der nordwestlichen Inselwelt. H. Hudson folgt 1610 den Beschreibungen von Davis, entdeckt die Hudson Bay, verzettelt sich darin und muss überwintern. Die meuternde Mannschaft setzt ihn mit seinem sechzehnjährigen Sohn aus und segelt nach England zurück. W. Baffin ist 1615–1616 dem Ziel Westpassage nahe. Er entdeckt den Lancaster-Sund, hält ihn aber für eine Meeresbucht und gibt die Suche auf. Danach er stirbt das Interesse der Seefahrtnationen England und Frankreich an der Passage für zwei Jahrhunderte.

Nach dem Ende der Napoleonischen Kriege rüstet England wieder Polarexpeditionen aus. Die Suche nach der Nordwestpassage beginnt von neuem, unter Beteiligung von J. Barrow, J. Ross, W. E. Parry und J. Franklin. Vermessungen zur See und von Land machen die Existenz einer Passage wahrscheinlich. Franklin will sie endgültig bezwingen, startet 1845 mit zwei Schiffen und 129 Mann Besatzung. Keiner kehrt zurück, die gesamte Expedition bleibt verschollen. Zahlreiche vergebliche Suchfahrten werden in den Folgejahren organisiert. Erst um 1990 gelang es einem kanadischen Team, das tragische Schicksal der Expedition aufzuklären: Sie scheiterte an den Folgen von Bleivergiftung, verursacht durch neuartigen Konservenproviant (Beatty & Geiger 1992). In den Jahren 1850–1853 durchfährt R. J. McClure die Passage von West nach Ost; R. Amundsen 1903–1906 in der ursprünglich gesuchten Richtung.

### • Nordostpassage

Der andere kürzere Weg nach China und Indien wäre eine Nordostpassage, an Sibirien entlang. England und Holland wollen das spanisch-portugiesische Handelsmonopol mit Indien kampfflos brechen. W. Barents dringt 1594 über Novaja Semlja bis etwa Kap Tscheljuskin vor und glaubt, die Passage gefunden zu haben. Ein Handelskonvoi im Folgejahr wird aber von Packeis blockiert. Bei einem dritten Versuch entdeckt Barents 1596 die Inselgruppe Spitzbergen wieder, die die Wikinger bereits um das Jahr 1100 *Svalbard* („Land der kalten Küste“) getauft hatten. Barents scheidet erneut an der Nordostpassage und stirbt vermutlich an Skorbut.

Russische Seefahrer sind in polaren Meeren erfolgreicher. Sie benutzen wesentlich kleinere, besser manövrierbare Schiffe (Kotschis) und weiten mit ihnen den Handel mit Sibirien aus. Im Jahr 1648 bringt S. Deschnjew sechzig Pelztierjäger von der Kolyma- zur Anadyr-Mündung. Er benutzt also, ohne es zu wissen, die Schlüsselstelle der Nordostpassage, die heutige Bering-Straße. Zar Peter der Große rüstet 1724 weitere Expeditionen aus, um die Ostverbindung mit Amerika zu erkunden. V. Bering findet die Meeresstrasse, landet aber erst zehn Jahre später an der Küste

Alaskas. Auch Katharina II. fördert neue Expeditionen unter der Führung der Brüder Laptew. Bei einer Landexpedition auf der Taymir-Halbinsel erreicht Tscheljuskin die nördlichste asiatische Landspitze. Diese zahlreichen Erkundungsfahrten münden in die Gründung der Russisch-Amerikanischen Gesellschaft, die bis 1867 Alaska zu ihrem Besitz zählt. Schließlich gelingt dem Norweger A. E. Nordenskjöld die Bezwingung der Nordostpassage 1878/79 bei einer Expedition, die nicht nur ökonomischen, sondern auch wissenschaftlichen Zielen diene. Zuvor hatten K. Weyprecht und J. Payer 1872–1874 Franz-Josef-Land entdeckt, eine Inselgruppe oberhalb 80° N zwischen Spitzbergen und Sewernaja Semlja.

### • **Wettlauf zum Pol**

Lange bleibt aber eine zentrale Frage noch ungeklärt: Liegt der Nordpol auf Festland? F. Nansen will die Antwort finden, angeregt durch die Nachricht, dass Teile eines vom Eis vor Russlands Küste zerdrückten Schiffes später an der grönländischen Küste gefunden wurden. Nansen leitet davon eine Drift des polaren Meereises ab. Er lässt sich mit seinem Schiff *Fram* einfrieren, um so die Frage nach Land oder Meer am Pol zu klären. Die Expedition dauert von 1893 bis 1896. Der Pol wird zwar nicht erreicht, es resultieren aber wichtige Erkenntnisse über Strömungen, Packeis und Klima (s. Abb. 19, 50).

Das Ziel Nordpol bleibt noch offen und ruft im Technikzeitalter neue Wissenschafts-abenteurer auf den Plan:

- S. Andrée versucht 1896 einen Ballonflug von Spitzbergen aus zum Pol und kommt mit seinen Begleitern um.
- R. Peary und F. Cook wetteifern 1908/09 um die Erstbegehung. Sehr wahrscheinlich hat keiner von beiden – entgegen ihren Behauptungen – den Pol erreicht.
- Im Jahr 1925 will R. Amundsen den Pol per Flugzeug erreichen. Er muss 136 Seemeilen davon entfernt wassern.
- 1926 startet U. Nobile mit einem Luftschiff, erreicht den Pol aber nicht. Ein zweiter Versuch 1928 endet mit einer Katastrophe. R. Amundsen bleibt bei einem Rettungsversuch verschollen; er stürzte sehr wahrscheinlich mit seinem Flugzeug ab.
- Erst 1948 landen drei russische Flugzeuge nachweislich auf den Packeisfeldern am Pol.
- Endgültige Klarheit über die ‚Polfrage‘ bringen die Fahrten des amerikanischen Atomunterseebootes *Nautilus*, das 1962 den Pol unter Wasser erreicht. Sowjets und Engländer kreuzen ebenfalls mit U-Booten im Nordpolarmeer, das sich als riesiges Becken ohne übermeerisches Festland erweist (Abb. 51).

### 1.3 Zur wissenschaftlichen Erkundung der Polargebiete

Die weißen Flecken auf den Landkarten, die den Geographen Dr. A. Petermann Mitte des letzten Jahrhunderts noch sehr aufregten, sind heute weitgehend getilgt, die ‚großen Würfe‘ sind getan. Zahlreiche Geographen waren an der frühen Phase der generellen Erkundung von Polargebieten maßgeblich und richtungsweisend beteiligt. In den letzten Jahrzehnten arbeiten sie aber verstärkt an speziellen Fragestellungen, sei es als ‚Einzelkämpfer‘, in kleinen Gruppen oder als Mitglieder großer Expeditionen. Die Schwerpunkte liegen dabei auf Fragen der Geomorphodynamik, Vereisungs-, Landschafts- und Klimageschichte, Bodengeographie und Geobotanik, Landschaftsökologie, Hydrologie, Glaziologie, Meteorologie/Klimatologie und Fernerkundung. Namen und Ergebnisse vieler Beteiligter werden in den nachfolgenden Ausführungen berücksichtigt.

Julius Büdel (Geographisches Institut Würzburg) realisierte 1950 und 1960 die beiden ersten *Staufeland-Expeditionen* nach Südost-Spitzbergen. Im Mittelpunkt standen geomorphologische Fragestellungen. 1967 folgte eine dritte Unternehmung unter Leitung von J. Büdel und A. Wirthmann mit weiteren elf Wissenschaftlern unterschiedlicher Spezialisierung. In der Folge wurden an diversen Geographischen Instituten polargeographische Forschungsvorhaben in der Arktis wie auch Antarktis ins Leben gerufen. Der ‚Arbeitskreis für Polargeographie‘ gab 1989 den Anstoß für das dreijährige multidisziplinäre Spitzbergen-Projekt „*Stofftransporte Land – Meer in arktischen Geosystemen*“ (SPE 90-92), das von den Geographischen Instituten in Stuttgart und Würzburg aus koordiniert und organisiert wurde. Das Basislager wurde am Liefde-Fjord (80° N) errichtet; jährlich verfolgten 40 bis 50 Wissenschaftler/innen eine Vielzahl geo- und biowissenschaftlicher Fragestellungen in der Hohen Arktis (s. Blümel (Hrsg.) 1992, 1994).

Zu den Pionieren in der geowissenschaftlichen Erkundung der Arktis zählt Alfred Wegener, Begründer der Kontinentalverschiebungs-Theorie. Als der wachsende Luftverkehr mehr Informationen über die atmosphärischen Bedingungen verlangt, wird der erfahrene Polarforscher Wegener beauftragt, meteorologische Stationen in Grönland zu errichten, unter anderem die Station *Eismitte* in 3000 m Höhe. Bei diesem Unterfangen im Jahr 1930 bleibt er verschollen. Seine Kollegen Loewe und Georgi liefern in der Folge wichtige Erkenntnisse zur Klimatologie und Glaziologie Grönlands.

Vor allem in der Zeit nach 1945 kommt eine vielseitige Polarforschung auf beiden Kalotten in Gang. Zahlreiche Aktivitäten unter internationaler Beteiligung stehen in Zusammenhang mit dem *Zweiten Geophysikalischen Jahr 1957/58* in der Antarktis (Kohnen o.J.). Bis heute beteiligt sich eine wachsende Zahl von Nationen an der Antarktis-Forschung, sei es durch saisonale Expeditionen, feste Stationen oder den Betrieb von Forschungsschiffen. Sie gilt sowohl der geo- und biowissenschaftlichen

Erkundung des Kontinents wie seines umgebenden Kaltwassergürtels. (Nähere Informationen sind den Publikationen der jeweiligen Nationen zu entnehmen.)

Die Bundesrepublik Deutschland trat 1979 dem Antarktisvertrag bei (vgl. Kohnen o.J.). Sie richtete 1980 in Bremerhaven das *Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung (AWI)* ein und stellte im Dezember 1982 den Forschungseisbrecher *Polarstern* in Dienst. Seit 1980/81 betreibt Deutschland die Überwinterungsstation *Georg-von-Neumayer* (Kohnen o.J., Reinke-Kunze 1992a; Abb. 4). Das AWI realisiert vielfältige, international eingebundene Forschungsvorhaben in der Antarktis wie der Arktis, teils in Kooperation mit dem *GEOMAR* (Kiel). Beide Institutionen unternehmen zahlreiche Forschungsexpeditionen in Kooperationen mit russischen Wissenschaftlern. Auch die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR, Hannover) führt Forschungsexpeditionen durch (stv. Roland 2009).



## 2 Abgrenzung und Flächenanteile der Polargebiete

### 2.1 Astronomische Abgrenzung und Beleuchtungsverhältnisse

Abgrenzungen sind unabdingbar in der systematischen Beschreibung und vergleichenden Erklärung der Erdoberfläche mit ihrem vielfältigen geographischen Inventar. Die Schiefe der Ekliptik als ein astronomischer Parameter äußert sich in der schon klassisch gewordenen globalen Dreigliederung – *Polargebiete*, *Mittelbreiten* sowie jeweils ein durch den Äquator halbiertes *Tropengürtel* innerhalb der Wendekreise. Der Vorteil der mathematisch-astronomischen Begrenzung der Polargebiete durch den nördlichen bzw. südlichen Polarkreis (jeweils  $66^{\circ} 33'$ ) ist offensichtlich: Zwischen einem jährlich einmaligen 24-Stunden-Tag (Sommersonnenwende) und zeitgleich einer 24-Stunden-Nacht am gegenüberliegenden Polarkreis (Winterhalbkugel) unterliegen beide Polarkalotten etwa gleichen, bilanzierbaren Einstrahlungs- und Energieverhältnissen. Ausgeprägte halbjährig symmetrische Beleuchtungsjahreszeiten mit gleichen Polartages- und Polarnachtlängen charakterisieren Arktis wie Antarktis. Polargebiete sind somit bipolare Zonen, in denen einmal oder an mehreren Tagen im Jahr die Sonne nicht unter- bzw. aufgeht. Die für die jeweilige geographische Breite berechenbaren Tages- und Nachtlängen können aus Abb. 1 entnommen werden (vgl. zu Abgrenzung und Landschaftsgliederung auch Wüthrich & Thannheiser 2002, Venzke 2006).

Anmerkung: Im Laufe der Jahrtausende ändert sich die Neigung der Erdachse gegenüber der Erdumlaufbahn. Der Winkel beträgt heute  $23^{\circ} 27'$  und schwankt innerhalb von 41.000 Jahren zwischen  $24^{\circ} 18'$  und  $21^{\circ} 55'$  (Imbrie & Palmer-Imbrie 1981), so dass sich auch Wende- und Polarkreise in ihrer geographischen Breite verschieben. In den damit verbundenen Änderungen der hemisphärischen Einstrahlungsverhältnisse und Energiehaushalte liegt wohl eine wesentliche Ursache für die quartären Kaltzeit-Warmzeit-Zyklen (Milankovich-Theorie; Broecker & Denton 1990; s. auch Kap. 3.5.3, 7.5).

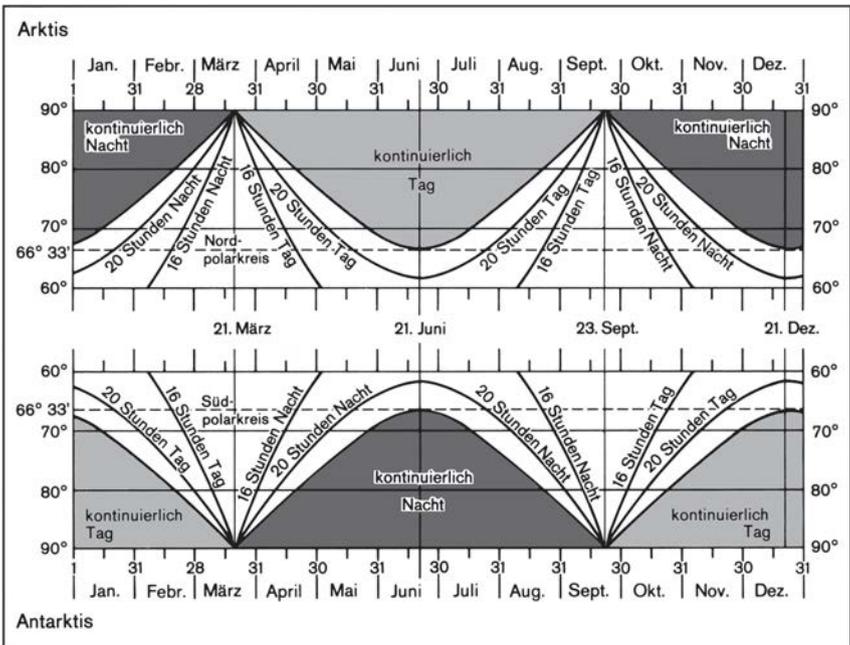


Abb. 1: Tages- und Nachtlängen der Nord- und Südkalotte zwischen 60° N/S und den Polen (aus Stäblein 1983a).

## 2.2 Geographische Abgrenzungsmöglichkeiten gegen die Mittelbreiten

Für die geographische Praxis bleibt diese klare astronomische Grenzziehung unbefriedigend, da die Ausprägung landschaftlicher Merkmale nicht mit den konzentrischen, zirkumpolaren Beleuchtungszonen korreliert. Die Form der Landmassen, ihre Verteilung und Orographie, klimatische Ozeanität oder Kontinentalität oder Einflüsse von Meeresströmungen verhindern eine ideale Ausprägung von breitenparallelen Landschaftszonen.

An dieser Stelle sollte der grundsätzliche Unterschied beider irdischer Polarregionen betont werden: Meeresflächen verkörpern die zentralen Teile des Nordpolargebiets (Arktis), umgeben von Kontinentflächen und Inseln (N-Amerika mit dem Kanadischen Archipel und Teilen Alaskas, Grönland, Spitzbergen, Nord-Europa und Eurasien). Relativ enge Meeresverbindungen bestehen zwischen dem Nordpolarmeer und den Ozeanen Atlantik sowie Pazifik (Abb. 2). Umgekehrt ist die Situation auf

der Südhalbkugel. Hier wird ein Kontinent in polarer Lage (Antarktika; Abb. 3) vom Südpolarmeer umgeben, das Anschluss hat an alle drei Weltmeere. Diese inverse Land-Meer-Verteilung allein zwingt zu einer individuellen Abgrenzung beider Polargebiete gegen die Mittelbreiten.

Thermisch definierte Grenzen sind oft willkürlich (z.B. die  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ -Jahresisotherme) und nur schwer räumlich festzulegen. Sie eignen sich jedoch, wenn sie sich in landschaftsprägenden Merkmalen äußern. So ist die Wald- bzw. Baumgrenze eine allgemein akzeptierte klimatische und pflanzengeographische Grenze der Mittelbreiten gegen arktische Polargebiete. Baumlose Pflanzengesellschaften der Tundra prägen den südlichen Gürtel der Arktis (Abb. 2). Nicht tiefe Temperaturen oder der Dauerfrost des Untergrundes limitieren den Baumwuchs und die Verjüngungsfähigkeit, sondern die von der sommerlichen Einstrahlung und Erwärmung sowie deren Dauer gesteuerte Vegetationsperiode. Letztere ist thermisch auf 4 bis 5, maximal 6 Monate begrenzt; in hochkontinentalen Räumen kann sie sich auf 2 bis 3 Monate verkürzen. „Von mindestens 10 humiden Monaten des Jahres haben wenigstens 4 und höchstens 6 eine Mitteltemperatur ( $t_{\text{mon}}$ ) von  $\geq +5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , davon meist 2 bis 3 (mind. 1, max. 4) von  $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ .“ (Schultz 2000: 184).

Die Baumgrenze ist somit als Wärmemangelgrenze zu betrachten, die sich nach Schultz (1995: 172) wie folgt festlegen lässt: „Sinkt die Vegetationsperiode im Mittel unter 3 Monate mit  $t_{\text{mon}} > 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  (oder unter 105–110 Tage mit Tagesmitteln von  $> 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) oder bleibt sie sehr kühl (kein Monat mit  $t_{\text{mon}} > 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), so gelingt es selbst den bestangepassten Baumarten nicht mehr, die Bildung ihrer neuen Triebe und Assimilationsorgane soweit abzuschließen, dass sie der Gefahr der winterlichen Frosttrocknis standhalten, d.h. sie verdorren („erfrieren“).“

Für die Waldgrenze – den Rand eines mehr oder minder geschlossenen Baumbestands – kann etwa die  $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ -Isotherme des wärmsten Monats angegeben werden. Von einer Grenze i.e.S. ist hier nicht zu sprechen, da in Form der Wald- und Strauchundra ein breiter Übergangssaum entwickelt ist, der durch Relief-, Expositions- und Standortseinflüsse räumlich modifiziert wird (Abb. 2; vgl. Kap. 8.2). Auf der *Nordhalbkugel* ist diese pflanzengeographische Begrenzung durch unterschiedliche Vegetationszonen aufgrund entsprechender Landmassen rund um das packeisbedeckte arktische Polarmeer anwendbar.

Auf der *Südhalbkugel* dagegen liegt der vereiste Kontinent Antarktika in polarer Lage, umgeben von Wassermassen. Mangels Festländern in den entsprechenden geographischen Breiten ist die Waldgrenze nicht existent. Zur Abgrenzung der Südpolarregion wird die sog. *Polarfront* (früher: *Antarktische Konvergenz*) benutzt. Das ist der Randbereich des *Antarktischen Ringstroms* (Abb. 3), dessen kalte Wässer an die wärmeren der angrenzenden Südozeane stoßen. Im Bereich der *Polarfront* werden Kaltwassertemperaturen von etwa  $-1,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ , im ‚Warmwasser‘ etwa  $2\text{--}3\text{ }^{\circ}\text{C}$

gemessen (Eicken 1995). Dieser nur wenige Dekakilometer breite, meeresbiologisch-ozeanographisch bedeutsame Grenzsaum ist jährlichen Lageänderungen und Verwirbelungen unterworfen, deckt sich aber regional grob mit dem 60. südlichen Breitengrad. Dies war Grundlage für eine internationale Konvention, das antarktische Polargebiet auch völkerrechtlich mit diesem Breitengrad zu umgrenzen.

## 2.3 Allgemeine und regionale Flächenanteile der Polargebiete

Die unterschiedliche, inverse geographische Ausprägung beider Polargebiete soll hier nur als tabellarische Übersicht der globalen Flächenanteile (Land / Meer) eingefügt werden (verändert nach Stäblein 1983a). Weitere Informationen und Charakteristika finden sich in den entsprechenden Kapiteln.

### (a) Übersicht

Mio. km <sup>2</sup>	Abgrenzungskriterium	% der Erdoberfläche oder % der Meeresflächen
21,2	Land oberhalb Polarkreise (66° 32' 51" N/S)	4 %
26,4	10 °C-Juli-Isotherme Arktis (Baumgrenze)	5 %
51,9	Antarktische Polarfront (10 °C-Februarisotherme)	10 %
37,7	0 °C-Jahresisotherme	7 %
34	maximale Flächen mit Meereis (saisonal stark variierend)	7 %
64	Eisbergverbreitung	13 %
71,4	Polarzonen 60–90° N/S	14 %

### (b) Regionale Gliederung (polwärts der Baumgrenze)

		% der Festlandsflächen
2,7	Kanadische Arktis	1,8 %
2,3	Sowjetische Arktis	1,5 %
2,2	Grönland	1,5 %
0,4	Alaska	0,3 %
0,06	Svalbard (Spitzbergen u.a.)	0,04 %
7,6	Arktische Festlandsflächen	5,1 %
14	Antarktika	9,4 %
21,6	Polargebiete ohne Polarmeere	14,4 %

### (c) Polare Meere (polwärts der Polarfront)

		% der Meeresflächen
14,3	Arktisches Mittelmeer (Nordpolarmeer, Arktik)	4 %
51,8	Zirkum-antarktisches Meer (Südpolarmeer)	14 %
71,1	Polare Meere	19,8 %