



Spektrum
AKA DOMESTIKER VERLAG
Sachbuch

JÜRGEN EHLERS

Das Eiszeitalter



Das Eiszeitalter

Jürgen Ehlers

Das Eiszeitalter

Dr. Jürgen Ehlers

Geologisches Landesamt Hamburg, Billstraße 84, 20539 Hamburg
Juergen.Ehlers@bsu.hamburg.de

Wichtiger Hinweis für den Benutzer

Der Verlag, und der Autor haben alle Sorgfalt walten lassen, um vollständige und akkurate Informationen in diesem Buch zu publizieren. Der Verlag übernimmt weder Garantie noch die juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für die Nutzung dieser Informationen, für deren Wirtschaftlichkeit oder fehlerfreie Funktion für einen bestimmten Zweck. Der Verlag übernimmt keine Gewähr dafür, dass die beschriebenen Verfahren, Programme usw. frei von Schutzrechten Dritter sind. Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Buch berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften. Der Verlag hat sich bemüht, sämtliche Rechteinhaber von Abbildungen zu ermitteln. Sollte dem Verlag gegenüber dennoch der Nachweis der Rechtsinhaberschaft geführt werden, wird das branchenübliche Honorar gezahlt.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer ist ein Unternehmen von Springer Science+Business Media
springer.de

© Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg 2011
Spektrum Akademischer Verlag ist ein Imprint von Springer

11 12 13 14 15 5 4 3 2 1

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 Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Planung und Lektorat: Merlet Behncke-Braunbeck, Dr. Christoph Iven

Redaktion: Monika Huch, Adelheidsdorf

Satz: klartext, Heidelberg

Umschlaggestaltung: wsp design Werbeagentur GmbH, Heidelberg

Titelbilder: Hintergrund: Südküste von Grönland, Foto: U.S. Geological Survey, Landsat 7 ETM, Path 233, Row 16, 8.7.2001; Mammut: aus Zimmermann, W.F.A. (1885): Die Wunder der Urwelt, Verlag Gustav Hempel, Berlin; untere Bildreihe (von links nach rechts): Nowaja Semlja, U.S. Geological Survey, Landsat 7 ETM, Path 187, Row 7, 24.6.2002; Kverkjökull, Island; Petroglyphen in Fossun, Schweden; Gletscherspalte; zu Pferd über den Vatnajökull, Foto Emmy Mercedes Todtmann.

Fotos/Zeichnungen: vom Autor, wenn in den Bildunterschriften nichts anderes angegeben ist.

ISBN 978-3-8274-2326-9

Vorwort

Das Eiszeitalter ist die Zeit, in der wir leben. Unsere heutige Warmzeit ist Teil des Eiszeitalters. „Das Eiszeitalter“ hieß auch Paul Woldstedts klassisches Lehrbuch der Quartärgeologie, das in mehreren Auflagen beim Ferdinand Enke Verlag erschienen ist. Und die Zeitschrift der 1948 in Hannover gegründeten Deutschen Quartärvereinigung (DEUQUA) hatte Paul Woldstedt „Eiszeitalter und Gegenwart“ genannt, um die Verbindung zwischen den dramatischen Klimaveränderungen der Vergangenheit und unserer heutigen Welt zu verdeutlichen (Woldstedt 1950). Ich habe diese Frühphase der deutschen Quartärforschung nicht mehr miterlebt. Als ich zum ersten Mal an einer DEUQUA-Tagung teilgenommen habe (in Hofheim, 1974), war Paul Woldstedt im Vorjahr verstorben.

Zur Eiszeitgeologie bin ich eher zufällig gekommen. Bei Beginn des Studiums 1969 stand für mich fest, dass ich Lehrer werden würde. Deutsch – und dann noch irgendein zweites Fach, irgendetwas Leichtes. Was bot sich da an? Die Erdkunde. Später haben sich die Schwerpunkte verschoben. Professor Horst Mensching war es, der mich mit den Grundprinzipien der Physischen Geographie vertraut gemacht hat.

Ich habe in Hamburg studiert. Das Thema „Eiszeiten“ wurde damals von Friedrich Grube unterrichtet, im Keller des Geographischen Instituts in der Rothenbaumchaussee. Grube brachte Karten und Profilschnitte mit, führte Exkursionen, selbst an den Wochenenden, und er war immer bereit, mit uns Studenten gemeinsam ins Gelände zu gehen. Das war „Wissenschaft live“, das hat mich begeistert, und so bin ich „Quartärforscher“ geworden. Ich habe es nie bereut.

Seit dem Erscheinen meiner „Allgemeinen und historischen Quartärgeologie“ vor nunmehr 16 Jahren hat sich viel verändert. Die Änderungen sind nicht auf den Bereich der Forschung beschränkt. Auch die Vorstellungen darüber, wie ein Eiszeit-Buch aussehen sollte, das den Leser anspricht, nicht nur einen, sondern möglichst mehrere, haben sich ge-

wandelt. Das vorliegende Buch versucht, diesen Änderungen Rechnung zu tragen.

Die Suche nach geeigneten Abbildungen ist bei einem Buchprojekt wie diesem immer ein interessantes Abenteuer. Als ich für die russischen Fotos von der „Chelyuskin“-Expedition keine Veröffentlichungsgenehmigung bekommen konnte, hat Petra Schmidt für mich den Untergang der „Chelyuskin“ in der Nordostpassage 1934 gemalt. Ist sie möglicherweise eine Verwandte von Professor Otto Yulyevich Schmidt, dem Leiter der „Chelkyuskin“-Expedition? Ich habe es nicht geklärt. Otto Schmidt war Mathematiker, Astronom, Geophysiker, Politiker, Mitglied der Akademie der Wissenschaften und Held der Sowjetunion.

Viele Kollegen und Freunde haben Teile des Buches kritisch durchgesehen und/oder Abbildungen zur Verfügung gestellt:

Wolfgang Alexowsky, Sächsisches Landesamt für

Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Freiberg;

Dr. Hinrich Bäsemann, Tromsø;

Dr. Jochen Brandt, Helms-Museum, Harburg;

Prof. Detlef Busche, Universität Würzburg;

Dr. Gerhard Doppler; Bayerisches Geologisches Landesamt, München;

Prof. Edward Evenson, Lehigh University, Pennsylvania;

Prof. Peter Felix-Henningsen, Universität Gießen;

Prof. Dr. Markus Fiebig, Universität für Bodenkultur, Wien;

Uwe Friesel, Lüchow/Stockholm;

Prof. Phil Gibbard, University of Cambridge;

Prof. Magnús Tumi Guðmundsson, University of Iceland, Reykjavik;

Dr. Bernd Habermann, Stadtarchäologie Buxtehude;

Dipl.-Geogr. Robert Hebenstreit, Freie Universität Berlin;

Dr. Christian Hoselmann, Hessisches Landesamt für Geologie und Umwelt;

Prof. Dieter Jäkel, Freie Universität Berlin;

Adriaan Janszen, TU Delft;

Dr. Kurt Kjær, Natural History Museum, Kopenhagen;
Prof. Wighart von Koenigswald, Universität Bonn;
Prof. Keenan Lee, Colorado School of Mines;
Marcus Linke, Landesbetrieb Geoinformation und Vermessung, Hamburg;
Eva-Maria Ludwig, Wentorf;
Prof. Juha-Pekka Lunkka, University of Oulu;
Steve Mathers, British Geological Survey, Nottingham;
Dr. Andrea Moscariello, TU Delft;
Prof. Dr. Jan Piotrowski, University of Aarhus;
Prof. Stephen C. Porter, University of Washington;
Dr. Frank Preusser, Universität Bern;
Prof. Vladimir E. Romanovsky, University of Alaska, Fairbanks;
Prof. Alexei Rudoy, Tomsk State University;
Prof. Gerhard Schellmann, Universität Bamberg;
Prof. Christian Schlüchter, Universität Bern;
Dr. Petra Schmidt, Witzeeze;
Gertrud Seehase, Ratzeburg;
John Shaw, University of Alberta, Edmonton;
Klaus Steuerwald, Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen;
Dr. Hans-Jürgen Stephan, Kiel;
Dr. Þröstur Þorsteinsson, University of Iceland, Reykjavik;
Prof. Roland Vinx, Universität Hamburg;
Dr. Stefan Wansa, Landesamt für Geologie und Bergbau Sachsen-Anhalt;
Gerda und Holger Wolmeyer, Hamburg;
Dr. Jan Zalasiewicz, University of Leicester;
Jacob G. Zandstra, Heemskerck;
Prof. Bernd Zolitschka, Universität Bremen;

Ihnen allen möchte ich herzlich danken.

Auf einer wissenschaftlichen Exkursion ist es häufig so, dass man anhand der Teilnehmerliste zunächst einmal versucht herauszufinden, wer eigentlich was ist. Eine derartige „Bestimmung der Fossilien“ können Sie auch in diesem Buch vornehmen. Paul Woldstedt, der die deutsche Quartärforschung jahrzehntelang maßgeblich beeinflusst hat, sehen wir bei der Gründung der INQUA. Hans Höfle, der mir (und vielen anderen) Island nahegebracht hat, steht am Rande einer Gletschermühle am Kverkjökull. Jan Zalasiewicz, von dem einige Sätze am Anfang und Ende dieses Buches stammen, führt das EM31 vor. Von Jan Zalasiewicz stammt auch der Pinguin, der überraschender Weise auf einem Foto als Maßstab dient; Jan hat ihn unserer kleinen Tochter bei unserer ersten Begegnung 1986 in Cambridge geschenkt. Wo steckt der Pinguin? Hinrich Bäsemann kann man im Mjøsa-See vor dem Moelv-Tillit erblicken (ganz links im Wasser). Jan Mangerud kann man sehen, wie er das Eem von Fjøsanger erläutert. Phil Gibbard, Freund und Partner in zahlreichen Projekten, steht auf einem Tillit. Matthias Kuhle sieht man bei der INQUA in Cairns. Ed Evenson erkennt man an seinem großen Cowboyhut. Louis Agassiz, der der Eiszeittheorie zum Durchbruch verhalf, ist der einzige Kollege, der es geschafft hat, als Marmorstatue verewigt zu werden. Er ist auch der Einzige, der kopfüber im Sand steckt.

Meine Frau Uta habe ich in einer Sandgrube kennengelernt. Gemeinsam mit unseren Kindern haben wir bei der Vorbereitung dieses Buches viele interessante und zum Teil ungewöhnliche Orte besucht, und ohne die Hilfe meiner Familie hätte dieses Buch nicht geschrieben werden können.

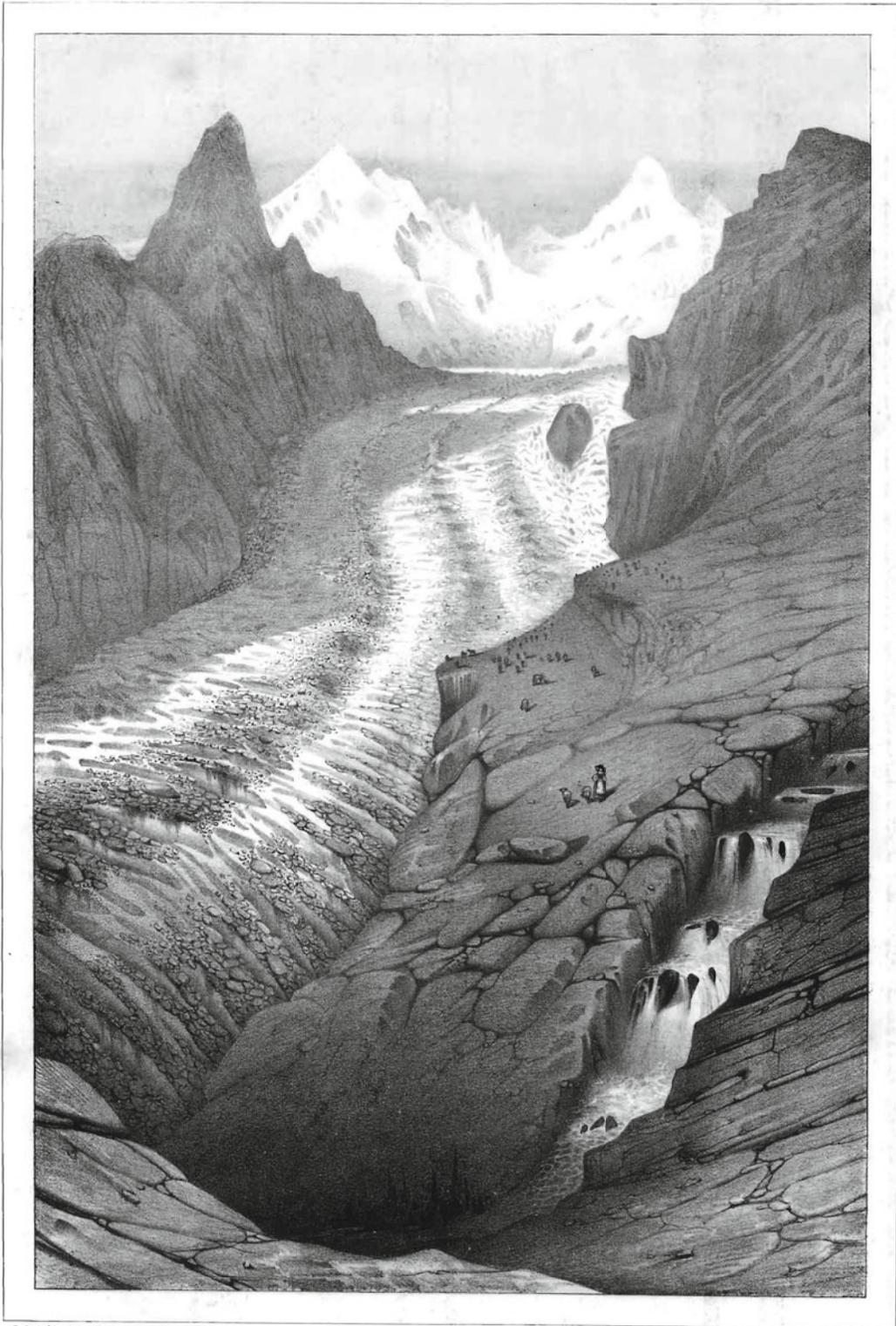
Witzeeze, den 9.8.2010.

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	3		
1.1	Am Anfang war die Sintflut	3		
1.2	Die Eiszeiten der Erdgeschichte	12		
1.3	Eiszeitursachen	13		
2	Der Ablauf des Eiszeitalters	19		
2.1	Wann begann das Quartär?	19		
2.2	Was ist was in der Stratigraphie?	20		
2.3	Spuren in der Tiefsee	25		
2.4	Systematik des Eiszeitalters	28		
2.5	Günz, Mindel, Riss, Würm – gilt die Gliederung noch?	30		
2.5.1	Alte Vereisungsspuren	31		
2.5.2	Günz.	33		
2.5.3	Haslach	33		
2.5.4	Mindel.	34		
2.5.5	Mindel-Riß-Interglazial	34		
2.5.6	Riß	34		
2.5.7	Riß/Würm-Interglazial (Eem).	35		
2.5.8	Würm	37		
2.6	Norddeutschland und angrenzende Gebiete	41		
2.6.1	Elster-Kaltzeit	45		
2.6.2	Holstein-Warmzeit	48		
2.6.3	Saale-Komplex.	48		
2.6.4	Eem-Warmzeit	51		
2.6.5	Weichsel-Kaltzeit	52		
3	Eis und Wasser.	57		
3.1	Entstehung der Gletscher.	57		
3.2	Heutige Gletscher – vom Kargletscher bis zum Inlandeis	60		
3.2.1	Wie bewegt sich ein Gletscher?	60		
3.2.2	Entstehung des Eisstromnetzes	62		
3.2.3	Entstehung des Inlandeises	65		
3.3	Die Dynamik der Eisschilde.	68		
3.4	Schmelzwasser	73		
4	Grundmoränen und Endmoränen – die Spuren der Gletscher.	79		
4.1	Grundmoränen	79		
4.1.1	Was ist ein Till?	79		
4.1.2	Die Grundmoräne – eine bunte Mischung?	84		
4.1.3	Geschiebetransport	86		
4.1.4	Geschiebe-Einregelung	92		
4.1.5	Leitgeschiebe	94		
4.1.6	Feinkies	97		
4.1.7	Qemscan – alle Analysenwerte auf einen Streich	100		
4.1.8	Sonderfall Mikrofossilien – Prä-Eem von Langeland	101		
4.2	Endmoränen	102		
4.2.1	Endmoränen und Endmoränenvertreter	102		
4.2.2	Stauchmoränen	102		
4.2.3	Gletscherdynamik am Beispiel der Weichselvereisung.	106		
5	Von der Gletschermühle bis zum Urstromtal	111		
5.1	Spuren pleistozäner Schmelzwassertätigkeit	111		
5.1.1	Fjorde, Rinnen, Oser.	111		
5.1.2	Sanderflächen und Schotterterrassen	119		
5.1.3	Eisstauseen	123		
5.1.4	Eisstauseen	132		
5.1.5	Urstromtäler.	133		

6	Karten – wo sind wir denn hier eigentlich?	139	9.4	Wasser in der Wüste – die Verschiebung der Klimazonen . . .	230
6.1	Digitale Karten	139	9.5	Veränderungen des Regenwaldes	237
6.2	Satellitenbilder – Basisdaten für die Eiszeitforschung.	146	10	Ablauf der Enteisung	241
6.3	Projektionen und Ellipsoide – der Teufel steckt im Detail	150	10.1	Eiszerfall	241
7	Wie weit reichten die Gletscher?	155	10.2	Die Entstehung der Sölle.	245
7.1	Gletscher in der Barents-See	156	10.3	Druckentlastung	248
7.2	Isostasie und Eustasie	159	10.4	Ein plötzlicher Übergang?	249
7.3	Eis auch in Ostsibirien?	163	10.5	Kleine Eiszeit.	255
7.4	Asien – das Rätsel von Tibet	169	11	Wind, Sand und Steine – die äolischen Prozesse	257
7.5	Nordamerika – die Eiszeiten werden älter	173	11.1	Dünen	257
7.6	Südamerika – Vulkane und Gletscher.	176	11.2	Flugsand	264
7.7	Afrika, Australien, Ozeanien – wo gab es Gletscher? Und wann?.	181	11.3	Löss	264
7.8	Antarktis – Ewiges Eis?	181	12	Was geschah mit den Flüssen?	269
8	Eis im Boden – die Formung der Periglazialgebiete	185	12.1	Trockentäler	271
8.1	Dauerfrostboden in der Eiszeit	187	12.2	Der Rhein – beeinflusst von alpinem und nordischem Eis	272
8.2	Periglazialbildungen	189	12.3	Die Elbe floss zur Ostsee.	280
8.2.1	Frostverwitterung	189	13	Nord- und Ostsee in der Eiszeit.	285
8.2.2	Kryoplanation	190	13.1	Die Entwicklung der Nordsee	285
8.2.3	Blockgletscher – Gletscher (fast) ohne Eis	191	13.2	Die Entwicklung der Ostsee	291
8.2.4	Verwürgungen	193	14	Klimarekonstruktionen und Modelle	301
8.2.5	Bodenfließen	195	14.1	Kerne aus dem Eis	301
8.2.6	Frostspalten und Eiskeile	197	14.2	Die marine Zirkulation	303
8.2.7	Pingos, Palsas und andere Frostbeulen	202	14.3	Vergletscherungsmodelle	304
9	Nilferde an der Themse – die Geschichte der Warmzeiten	209	14.3.1	Vom Ende der Saale-Kaltzeit bis zur frühen Weichsel-Kaltzeit.	306
9.1	Entwicklung der Fauna	210	14.3.2	Von der Frühen zur Mittleren Weichsel-Kaltzeit	308
9.2	Vegetationsentwicklung	213	15	Der Mensch greift ein	317
9.3	Verwitterung und Bodenbildung	222	15.1	„Out of Africa“ – Die Ausbreitung der Menschen	317
9.3.1	Paläoböden	224			

15.2	Neandertaler und <i>Homo sapiens</i>	321	15.9	Austrocknende Seen, abschmelzende Gletscher und andere schlechte Aussichten	326
15.3	Die Mittlere Steinzeit	322		Literatur	333
15.4	Die Jungsteinzeit – Beginn des Ackerbaus	322		Index	355
15.5	Bronze und Eisen	323			
15.6	Die Römer.	324			
15.7	Mittelalter.	325			
15.8	Heutige Landnahme	326			



Lith. de Nuclelet à Houdoulot (Genève)

Reproduction in Lep.

ZIERMATT-GLETSCHER

Mittlerer Theil.

Gornergletscher, Schweiz, mittlerer Teil (aus Agassiz, 1841).

1

Einführung

„Die Eiszeiten! Man kann sich heute kaum vorstellen, mit welcher Ratlosigkeit und Verblüffung diese Theorie vor etwa 150 Jahren aufgenommen wurde. Allein die Vorstellung, dass sich riesige Eiswände von Norden her über unsere Landschaften geschoben und alles verschlungen haben sollen, provozierte unverhohlene Ablehnung.“ (Zalasiewicz 2009)

Das Treffen der Schweizer Naturkundlichen Gesellschaft am 24. Juli 1837 in Neuchâtel begann mit einem Eklat. Der junge Präsident der Gesellschaft, Louis Agassiz, sprach nicht über die neuesten Ergebnisse seiner Untersuchungen an fossilen Fischen, durch die er berühmt geworden war. Stattdessen entschloss er sich, darüber zu sprechen, dass die erratischen Blöcke im Jura (und in der Umgebung von Neuchâtel) Hinterlassenschaften einer großen Vergletscherung waren. Dieser „Diskurs von Neuchâtel“ gilt als die Geburtsstunde der Eiszeittheorie.

Agassiz war nicht der Erste, der dies behauptete, aber der erste ernsthafte Wissenschaftler. Sein Vortrag stieß auf eisige Ablehnung. Und auch auf der anschließenden Exkursion am 26. Juli, auf der eigentlich jeder die Beweise der früheren Vergletscherung mit eigenen Augen begutachten konnte, gelang es Agassiz nicht, die Fachkollegen zu überzeugen. Die Eiszeittheorie schien eine Totgeburt.

1.1 Am Anfang war die Sintflut

Der Mensch neigt dazu, ihm zunächst unverständliche Erscheinungen in der Natur durch bekannte Prozesse zu erklären. Die Vorstellung von „Eiszeiten“ war den Wissenschaftlern früherer Jahrhunderte fremd. Man wusste dagegen, dass im Laufe der Erdgeschichte immer wieder ausgedehnte Landgebiete vom Meer überflutet worden waren. So lag es nahe, auch die Hinterlassenschaften des Quartärs, speziell die erratischen Blöcke, als Folgen einer großen Flut

zu deuten. War nicht auch in der Bibel von einer verheerenden Flut die Rede? An vielen Stellen der Erde fanden sich Spuren der Flut. Johann Friedrich Wilhelm Jerusalem listete einige davon auf. Er schrieb:

„Die größte Aufmerksamkeit verdienen aber die zugespitzte südliche Gestalt von Afrika und Indien, und alle die um ganz Asien, vom rothen Meere an bis nach Kamschatka, von Süden nach Norden gehenden großen Meerbusen, die der sicherste Beweis sind, dass die Erde einmahl von Süden her, eine gewaltsame Überschwemmung erlitten haben müsse, welches wiederum die in Siberien sich befindende Menge von Gerippen großer südlicher Landthiere noch mehr bestätigt.“ (1774)

Als Jerusalem diese Zeilen veröffentlichte, war der unbedingte Glaube an die wörtliche Bedeutung der biblischen Texte nicht mehr gegeben. Jerusalem, Berater Herzog Karl I. von Braunschweig-Wolfenbüttel, war einer der bedeutendsten Theologen der deutschen Aufklärung. Er war ein gebildeter Mann, hatte Jahre in Holland und England zugebracht. In seine Deutung der Sintflut bezieht er die toten Mammuts aus Sibirien mit ein. Er ist sich sehr wohl bewusst, dass „versteinerte und über die ganze Erde verbreitete Seethiere, wie die Ammonshörner“ nicht aus der biblischen Sintflut stammen können. Aber eine Flut, eine sehr, sehr große Flut, die war schon vorstellbar.

Dass es sich dabei um die biblische Sintflut gehandelt haben sollte, wurde zu Beginn des 19. Jahrhunderts nur noch von wenigen geglaubt. Einer von ihnen, Reverend William Buckland aus Oxford, führte 1823 den Begriff „Diluvium“ in die stratigraphische Nomenklatur ein.

Während Cuvier noch annahm, die Spuren dieser Sintflut nur in den Niederungen und Tälern der Erde zu finden, schrieb Buckland: „Die Granitblöcke, die von den Höhen des Montblanc in die Berge des Jura transportiert worden sind, könnten nicht von ihrem Ausgangsgebirge, dem höchsten Europas, wegbewegt worden sein, wäre dieser Berg nicht unter der Oberfläche des Wassers gelegen, das sie transportiert hat.“

Cuvier schrieb außerdem: „In gewissen Ländern finden wir zahlreiche große Blöcke primitiven Gesteins, die über die Oberfläche anderer Schichten verbreitet liegen, und die durch tiefe Täler oder gar Meeresarme von den Gipfeln und Gebirgen getrennt sind, von denen sie stammen müssen. Wir müssen daher notwendigerweise zu dem Schluss kommen, dass diese Blöcke entweder durch Eruptionen hinausgeschleudert worden sind, oder aber dass die Täler (die ihren Transport aufgehalten haben würden) zur Zeit ihres Transports nicht existierten, oder aber dass der Strom des Wassers, das sie transportiert hat, in seiner Gewalt alles übertraf, was wir uns heute vorstellen können.“ (Cuvier 1827).

Dieser frühe Versuch einer natürlichen Erklärung für das Vorkommen der Findlinge fern ihres Ausgangsgesteins entspricht der Rollstein- oder Schlammfluttheorie, die vor allem durch Leopold von Buch (1815), aber auch durch Alexander von Humboldt (1845) und den schwedischen Arzt und Naturforscher Nils Gabriel Sefström (1836) vertreten wurde. Man nahm an, dass die Findlinge durch gewaltige Wassermassen, die sogenannte „petridelaunische Flut“, transportiert worden seien. Der Grund für die Freisetzung solcher Wassermassen, die aus den Alpen und den Gebirgen Skandinaviens herausgeströmt sein sollten, musste freilich offen bleiben.

Von Hoff war der Erste, der sich in Deutschland in seiner *Geschichte der durch Ueberlieferung nachgewiesenen natürlichen Veränderungen der Erdoberfläche* (1834) gegen den Katastrophismus Cuviers wandte. Auch der Engländer Charles Lyell hatte sich in seinen *Principles of Geology* (1830–33) gegen das entscheidende Wirken von Katastrophen ausgesprochen. Neptunisten stritten mit Plutonisten; die Theorie einer sanften Umgestaltung der Erde schien sich durchzusetzen.

Eine neue Deutung der erratischen Blöcke bahnte sich zu Beginn des 19. Jahrhunderts an. In einem flachen, kalten Meer sollten nach der Drifttheorie Eisberge den Boden geschrammt und die Findlinge antransportiert haben.

Die Anhänger der Drifttheorie, zu denen auch Darwin und der Physiker Helmholtz gehörten, mussten zwar von einer größeren Ausdehnung der Gletscher ausgehen, um das Vorkommen der zahlreichen Eisberge zu erklären, lehnten jedoch eine umfassende Vergletscherung ab. Auch Lyell (1840) diskutierte die Entstehung der erratischen Blöcke in Nordeuropa und wandte sich entschieden gegen den von Agassiz ins Auge gefassten Neo-Katastrophismus.

Agassiz ließ nicht locker. Im Jahre 1840 brachte er sein Buch „Études sur les glaciers“ heraus, ein Jahr

später folgte die deutsche Ausgabe „Untersuchungen über die Gletscher“. Beide Bücher wurden auf Kosten des Verfassers gedruckt. Alexander von Humboldt gab Agassiz den Rat, doch lieber zu seinen fossilen Fischen zurückzukehren. „Dadurch würden Sie“, schrieb er, „der positiven Geologie einen größeren Dienst erweisen, als durch diese allgemeinen Betrachtungen (die etwas eisig sind) über die Umwälzungen der primitiven Welt, Erwägungen, von denen Sie selbst nur zu gut wissen, dass sie allenfalls diejenigen überzeugen können, die sie in die Welt gesetzt haben.“ (zit. nach Imbrie & Imbrie 1986)

Agassiz hatte dennoch Erfolg mit seinem Buch. Er konnte zeigen, dass die Hinterlassenschaften der Gletscher vom derzeitigen Eisrand über Serien von Endmoränen bis ins Alpenvorland reichten, und dass sich die Spur der Steine von ihrem Herkunftsgebiet bis zum äußersten Rand des Verbreitungsgebiets der erratischen Blöcke verfolgen ließ. Und er zögerte nicht, seine Ergebnisse nicht nur im Wort, sondern auch im Bild publik zu machen. Der aufwendig gestaltete Atlas vermittelte die Anschauungen seines Autors überzeugender als viele Worte.

Den wissenschaftlichen Durchbruch brachte seine Reise nach Großbritannien, wo es ihm schließlich gelang, William Buckland von seiner Theorie zu überzeugen. Dieser wiederum überzeugte Charles Lyell, den wichtigsten Geologen seiner Zeit, und schon im November 1840 traten alle drei gemeinsam vor die Geological Society of London, um ihre neuen Erkenntnisse der Fachwelt vorzutragen. Diese blieb zunächst noch skeptisch, aber nun war der Siegeszug der Eiszeittheorie nicht mehr aufzuhalten.

Agassiz verlangte von seinen Lesern eine erhebliche Vorstellungskraft. Er schrieb: „Zu Ende der geologischen Epoche, welche der Erhebung der Alpen vorherging, bedeckte sich die Erde mit einer ungeheuren Eiskruste, welche von den Polargegenden her über den größten Teil der nördlichen Halbkugel sich erstreckte. Die scandinavische und großbritannische Halbinsel (sic!), die Nord- und Ostsee, das nördliche Deutschland, die Schweiz, das Mittelmeer bis zum Atlas, das nördliche Amerika und asiatische Rußland waren ein ungeheures Eisfeld, aus welchem nur die höchsten Spitzen der damals bestehenden Berge (...) auftauchten.“ (S. 284)

Die Diskussion fand auch in der Öffentlichkeit ein großes Interesse. Die Schweiz und ihre Gipfel waren eines der beliebtesten Ziele des beginnenden Fremdenverkehrs. Die ersten waren vor allem englische Bergsteiger, die es in die Alpen drängte. Die Anreise war zunächst beschwerlich; erst die Eisenbahn erleichterte in den letzten Jahrzehnten des 19. Jahrhun-

Treibeistransport

Der Sandsteinblock in Abb. 1.1 ist $185 \times 175 \times 135$ cm groß; sein Gewicht wird auf 8 Tonnen geschätzt. Er liegt auf der mit *Spartina alterniflora* bestandenen Salzmarsch. Als der Stein bei seiner Ablagerung vom Treibeis landwärts gedrückt wurde, hat er im Boden eine deutliche Furche hinterlassen (im Vordergrund rechts).

Auch Goethe hatte davon gehört, dass Eisschollen Gesteinsmaterial aus Schweden quer über den Øresund nach Dänemark transportiert haben sollten. Waren auf diese Weise die erratischen Blöcke Norddeutschlands an ihren heutigen Ort gelangt?

Treibeis ist tatsächlich in der Lage, große Steine zu bewegen. Die Küstengewässer Nordkanadas sind im Winter

von Eis bedeckt. Im Frühjahr kommt es zum Aufbrechen der Eisbedeckung und die entstehenden Eisschollen driften an der Küste entlang. Auf diese Weise kann angefrorenes Gesteins- und Bodenmaterial vom Treibeis verlagert werden. Der Kanadier Jean-Claude Dionne hat sich in zahlreichen Publikationen mit diesem Phänomen auseinandergesetzt.

Die Abb. 1.2 zeigt eine abschmelzende Eisscholle, die eine 25–30 cm dicke Schicht aus der Salzmarsch herausgerissen und mit dem Ebbstrom seewwärts verlagert hat. Treibende Eisberge erzeugen erheblich größere Schrammen. Entsprechende *plough marks* von Eisbergen der Weichsel-Eiszeit werden am Meeresboden bis in große Wassertiefen gefunden.



Abb. 1.1 Ein von Treibeis transportierter Sandsteinblock auf der Unteren Salzmarsch bei Isle-Verte, St. Lawrence Estuary, Kanada. Aufnahme: Jean-Claude Dionne.



Abb. 1.2 Gestrandete Eisscholle mit einer dicken Schicht angefrorenen Bodens, St. Lawrence Estuary, Kanada. Aufnahme: Jean-Claude Dionne.

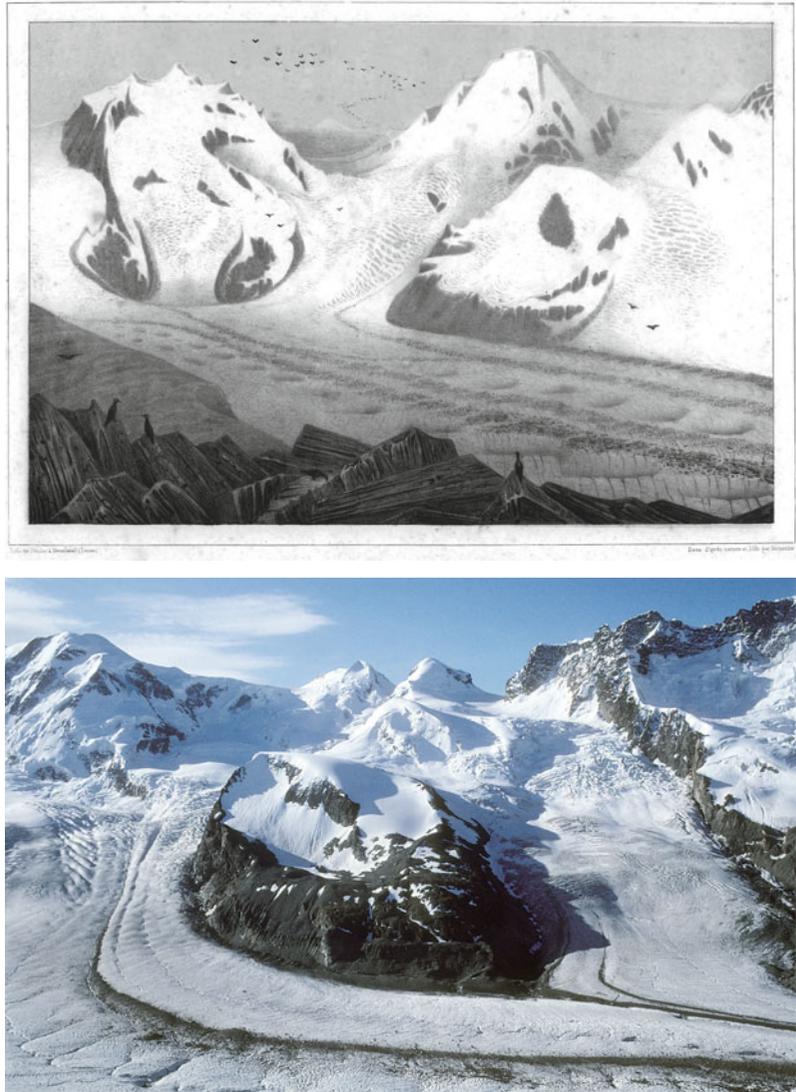


Abb. 1.3 Blick vom Gornergrat in Richtung Monte Rosa, Schweiz. Oben: ca. 1840 (Agassiz), unten: 1979. Der Blickwinkel ist unterschiedlich, aber der Rückgang des Eises am Gegenhang ist deutlich erkennbar (aus Agassiz 1841, Ehlers 1979).

derts den Zugang (Hachtmann 2007). Die verkehrsmäßige Erschließung des Alpenraumes machte es auch den Wissenschaftlern leichter, ihre Forschungen vor Ort durchzuführen.

In Norddeutschland hat sich die Glazialtheorie besonders spät durchgesetzt. Zwar hatte bereits Charpentier (1842) die Existenz einer nordwesteuropäischen Vereisung bis nach England, Holland, an den Harz, nach Sachsen, Polen und bis „fast nach Moskau“ gefordert. Er konnte sich mit dieser Meinung jedoch ebenso wenig durchsetzen wie vor ihm Bernhardt (1832) oder nach ihm Morlot (1844, 1847). Bernhard Cotta (1848) schrieb: „Es überschreitet die Grenzen des Denkbaren, Gletscher anzunehmen, welche von den norwegischen Gebirgen bis an die

Elbe und bis nach Moskau, ja selbst bis an die Küsten Englands reichen, und sich über diesen kaum geneigten, aber unebenen Boden, mit Moränen beladen hinwegbewegen. (...) Dagegen kennt man in beiden Polargegenden der Erde durch Beobachtung eine Art des natürlichen Steintransportes, welche beständig stattfindet, und welche wohl geeignet sein dürfte, die nordischen Geschiebe Europas und Amerikas, sowie die erratischen Blöcke Patagoniens zu erklären. Das ist der Transport durch schwimmende Eisschollen.“ Die Drifttheorie setzte sich durch und blieb in Norddeutschland jahrzehntelang Lehrmeinung (z. B. Cotta 1867).

Als der schwedische Geologe Otto Torell (am 3. November 1875) auf einer Exkursion im Zusammen-

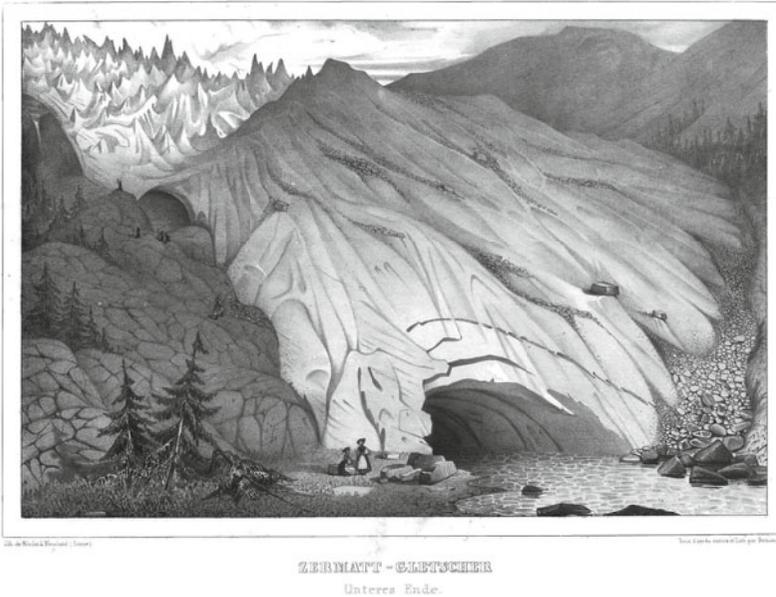


Abb. 1.4 Das untere Ende des Gornergletschers (früher: Zermatt-Gletscher). Weder die beiden Damen am Fuß des Gletschers noch die Herren auf den angrenzenden Felsen (links) scheinen beruflich hier zu tun zu haben; es sind Touristen (Agassiz 1841).

hang mit einer Sitzung der Deutschen Geologischen Gesellschaft in Berlin die bereits bei Sefström (1838) beschriebenen Schrammen auf dem Muschelkalk von Rüdersdorf eindeutig als Gletscherschrammen identifizierte, war ein Wechsel der Lehrmeinung längst überfällig. Die Glazialtheorie war zu jenem Zeitpunkt in England und Nordamerika bereits seit zehn Jahren fest etabliert (Lyell 1863, Dana 1863), und auch Torell hatte seine Ansichten über die Eiszeit in Nordeuropa schon 1865 veröffentlicht. Geglaubt haben ihm zunächst nur wenige.

Im folgenden Jahr (1880) fand Felix Wahnschaffe an mehreren Punkten am Nordrand der deutschen

Mittelgebirge Gletscherschrammen. Er schrieb: „Bei Velpke, 5 km südwestlich von Oebisfelde gelegen, werden die von Südost nach Nordwest streichenden dort fast sölhlig lagernden Sandsteine von Geschiebelehm oder Geschiebesand überlagert, nach deren Abdeckung sich in mehreren Steinbrüchen außerordentliche Glazialschrammen auf den Schichtoberflächen erkennen ließen.“ Die Gletscherschrammen gehörten zu zwei verschiedenen Eisvorstößen. Die älteren Schrammen, die um 27° streichen, werden von einem jüngeren, etwa 84° streichenden System gekreuzt. Eine große Rhätsandsteinplatte wurde geborgen und in die Sammlung der Königlich Preu-

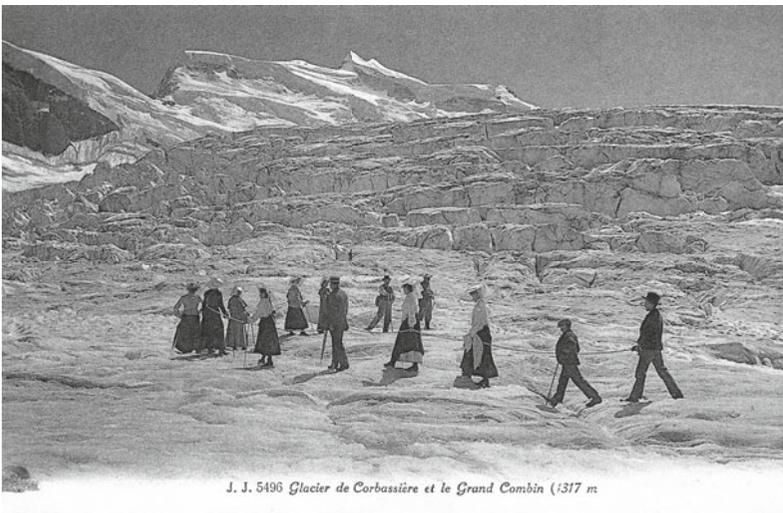


Abb. 1.5 Ein Ausflug auf den Glacier de Corbassière, Wallis, Schweiz. Im 19. Jahrhundert erlebte der Fremdenverkehr in der Schweiz einen starken Aufschwung. Die wilde Natur, und damit auch die Gletscher, wurden touristisch interessant und auch für wissenschaftliche Untersuchungen besser zugänglich. An der Stelle, an der die Postkarte aufgenommen wurde, wirkt der Gletscher heute unverändert. In Wahrheit ist seine Länge jedoch seit 1889 um 800 m zurückgegangen.

Ein Beweis der Drifttheorie

Ende der 1870er Jahre machte sich Heinrich Otto Lang daran, der Frage der Glazialtheorie anhand der norddeutschen Findlinge auf den Grund zu gehen (Lang 1879). Lang war am 10.09.1846 in Gera-Untermhaus geboren; er promovierte 1874 zum Dr. phil. und wurde anschließend Privatdozent für Mineralogie und Geologie an der Universität Göttingen. Als ihm zu Ohren kam, dass im Bremischen, bei Wellen, ein großes Kiesvorkommen gefunden worden sei, ließ er sich von Prof. Buchenau aus Bremen und einem Herrn von der Hellen über 180 Steine schicken, wobei er darum bat, nicht nur solche Gesteine einzusammeln, die besonders interessant aussahen, sondern vor allem auch diejenigen, die „die wesentlichen Constituenten der Ablagerung darstellten“.

Lang stand vor einer schier unlösbaren Aufgabe. Seine Arbeit wurde dadurch erschwert, dass er noch nie in Skandinavien gewesen war, und dass ihm auch die maßgebliche Literatur zum Teil nicht zugänglich war. Dafür konnte er auf verschiedene geologische Sammlungen zurückgreifen, unter anderem die petrographischen Sammlungen der Königlichen Universität Göttingen, in der sich erratische Geschiebe aus dem Coburgschen, aus Hannover, aus Loitz in Pommern, Dänemark, Schweden und Island fanden. Die isländischen Gesteine werden ihm wenig genützt haben, genau wie die Gesteine, die von der ersten deutschen Nordpol-Expedition gesammelt worden waren.

Da die Gesteine wegen der hohen Druckkosten nicht abgebildet werden konnten, blieb nur die genaue Beschreibung. Lang gab sich große Mühe: „Ein bräunlichrother Granit (156) besitzt als primäre Gemengtheile fast nur Feldspath und Quarz; die Feldspathe bilden gewissermassen eine rote Grundmasse, in welcher, mit blossen Auge betrachtet grau, im Anschliff sogar schwarz erscheinende Quarzkörner ein-

gebettet sind; andere dunkle, mattere, unregelmässig begrenzte Stellen im Anschliffe finden sich spärlicher; auf einer Klufffläche, die an einer Stelle die Oeffnung einer Caverne erkennen lässt, finden sich stellenweise Anflüge von Eisenoxydhydrat oder auch eines hellgrünlichen, glimmerähnlichen Minerals und ist es besonders dieser Umstand, der eine Aehnlichkeit mit einem Granitgeschiebe von Zeitz in Thüringen (Liebe's Priv.-Sammlung) bewirkt ...“

Lang fragte sich: Können diese Steine vom Gletscher nach Norddeutschland gebracht worden sein? Die Antwort lautete: Nein. Wie man weiß, kann ein Gletscher immer nur die Gesteine mitbringen, die er in seinem Herkunftsgebiet vorfindet. In der vorliegenden Sammlung zeigt sich aber eine große Mannigfaltigkeit der Gesteinsarten, und das spricht gegen einen Gletschertransport. Bei einem Transport durch driftende Eisberge lässt sich dagegen die Durchmischung viel eher erklären.

Lang hat großen Aufwand betrieben, und als sich seine Arbeit schon im Druck befand, hat er noch letzte Ergänzungen als Anhang hinzugefügt. Inzwischen hatte sich für ihn überraschend die Möglichkeit einer Reise nach Christiania (Oslo) und Südsandinavien ergeben. Lang fand dort seine Auffassungen bestätigt. Es hatte keine Eiszeit gegeben. Er schloss mit der scherzhaften Bemerkung: „Man kann Herrn Torell den Vorwurf nicht ersparen, dass er mit dem Eise spiele.“

Doch alle Mühe war umsonst. Im gleichen Jahr erschien Albrecht Pencks Aufsatz über *Die Geschiebformation Nord-Deutschlands* (1879), und damit wurden auch im Norden des Deutschen Reiches die letzten Zweifel an der Glazialtheorie ausgeräumt.

Abb. 1.6 Rhätsandsteinplatte von Velpke (10 km ESE von Wolfsburg) mit Gletscherschrammen, die in zwei verschiedenen Richtungen verlaufen. Die Platte befindet sich heute im Museum der BGR in Spandau. Aufnahme: Klaus Steuerwald.

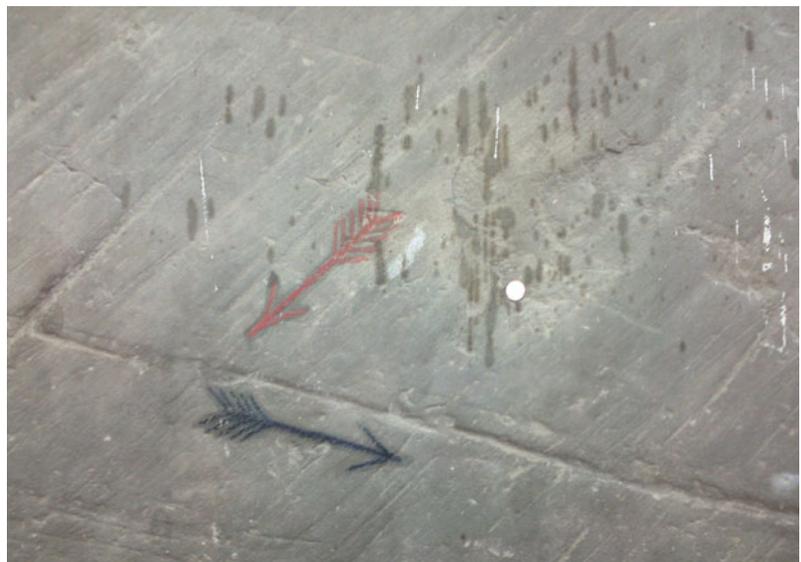




Abb. 1.7 Karte von Geikie mit der Ausdehnung der Gletscher der „Dritten Glazialen Epoche“ (d. h. Weichsel-Eiszeit) in Europa. Die Südgrenze des Vereisungsgebietes entspricht fast dem heutigen Kenntnisstand (aus Geikie 1894).

bischen Geologischen Landesanstalt aufgenommen. Man kann sie noch heute in den Sammlungen der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Berlin-Spandau besichtigen.

In Großbritannien war James Geikie einer der führenden Vertreter der Glazialisten. Im Jahre 1894 veröffentlichte Geikie bereits Übersichtskarten, die drei große Vereisungen in Nordeuropa zeigten. Damit war zumindest der Rahmen für die genauere Kartierung der folgenden Jahrzehnte vorgegeben. Geikie stand im Kontakt mit den führenden Geologen seiner Zeit, und per Post wurden Schriften und Sonderdrucke ausgetauscht. Dazu gehörte natürlich auch, dass man den freundschaftlichen Kontakt zu den Kollegen aufrechterhielt. So schrieb Geikie: „Lieber Monsieur Boule, Erlauben Sie mir, Ihnen herzlich für die ausgezeichnete Analyse meiner „Great Ice Age“ in (der Zeitschrift) „L'Anthropologie“ zu danken, in der Sie das Buch Ihren Landsleuten freundlich empfehlen ...“ Selbstverständlich konnte es nichts schaden, wenn er dem guten Mann gleich ein Exemplar der völlig überarbeiteten dritten Auflage zuschickte.

Zu jener Zeit war auch der Ursprung der Menschheit von großem Interesse. Charles Darwin hatte 1859 *On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or The Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life* veröffentlicht und damit eine lebhaft diskutierte Diskussion unter den Wissenschaftlern und in der Öffentlichkeit ausgelöst. Teile seiner Vorstellungen wurden sehr rasch akzeptiert (Evolution, Abstammungslehre), andere, darunter die Selektion der

31 Marchiston Avenue
Edinburgh
March 14. 95

Dear Monsieur Boule

Allow me to thank you cordially for the excellent analysis of my Great Ice Age which you have given in L'Anthropologie, and for your friendly recommendation of the book & your compliments. We have learned much indeed in the past 20 years – but we have still a great deal to learn. I have no doubt that in 20 years' time or less, the present edition of my book will be as obsolete as the first edition is now.

I have often wished to know about M. A. Falsan. A year ago he wrote me a sad letter in which he bade adieu to Geology. I know

Abb. 1.8 Dankbrief von Geikie an Prof. Boule. Der in dem Schreiben erwähnte Albert Falsan war ein französischer Naturforscher, der unter anderem die Findlinge im Einzugsgebiet der Rhone kartiert hat (Falsan & Chantre 1877/78).



Abb. 1.9 Die Wunder der Urwelt von Dr. W. E. A. Zimmermann.



Abb. 1.10 Der vorsintfluthliche Mensch. Der Verfasser macht sich zwar im Text darüber lustig, dass sich jemand anmaßt „eine Abbildung unseres antediluvianischen Vorfahren zu veröffentlichen“, druckt diese aber dennoch nach.

Arten, erst Jahrzehnte später. Wie hatte der Mensch der Vorzeit ausgesehen? Geikie beschrieb die Funde, aber er zeichnete kein Bild. Andere waren da weniger zurückhaltend. Dr. W. E. A. Zimmermann zum Beispiel brachte seinen Lesern „Die Wunder der Urwelt“ nahe. Untertitel: „Eine populäre Darstellung der Geschichte der Schöpfung und des Urzustandes unseres Weltkörpers so wie der verschiedenen Entwicklungsperioden seiner Oberfläche, seiner Vegetation und seiner Bewohner bis auf die Jetztzeit“. Da blieben keine Fragen offen. Bilder zeigten zum Beispiel „Das Erdbeben von Lissabon“ (Rauch, Flammen, untergehende Schiffe) oder den „Vulkan Erebus im südlichen Eismeer“ (vor dem rauchenden Vulkan: Treibeis, hohe Wellen, untergehende Schiffe). „Dreißigste Auflage. Nach dem neuesten Standpunkt der Wissenschaft verbessert“. Die erratischen Blöcke werden in dem Buch 1885 allerdings noch durch Treibeistransport erklärt.

		Erdzeitalter	Alter in Millionen Jahren	Eiszeitalter	
Phanerozoikum	Känozoikum	Quartär	2,6	Känozoisches Eiszeitalter 0 - 30	
		Tertiär	Neogen		23
			Paläogen		66
	Mesozoikum	Kreide	146		
		Jura	200		
		Trias	251		
		Perm	299	Karoo 360-260	
		Karbon	359		
	Paläozoikum	Devon	416		
		Silur	444	Saharan 450-420	
Ordovizium		488			
Kambrium		542	Varangian 800-635		
Proterozoikum		Neo-	1000		
Archaikum	Meso-	1500	Huronian 2400-2100		
	Paläo-	2500			
			3800		

Abb. 1.11 Geologische Zeittafel (unmaßstäblich) und Vorkommen von Eiszeitaltern in der Erdgeschichte.



Abb. 1.12 Neoproterozoischer Tillit der Varanger-Vereisung von Bigganjarga, bei Karlebotn, Varanger-Halbinsel, Nordnorwegen. Der Tillit gehört zur Smalfjord-Formation, vermutlich Oberes Vendian (Varangerian), über 640 Millionen Jahre alt. Aufnahme: Juha-Pekka Lunkka.



Abb. 1.13 Neoproterozoischer Moelv-Tillit bei Moelv am Mjøsa-See, Norwegen; oben: Übersichtsaufnahme, unten: Detail.

1.2 Die Eiszeiten der Erdgeschichte

In anderen Ländern gab es bereits Mitte des 19. Jahrhunderts Belege dafür, dass die pleistozäne Vereisung innerhalb der Erdgeschichte kein Einzelfall gewesen war. Als man in Norddeutschland noch an das Drift-eis glaubte, waren in Vorderindien (1856), Australien (1859) und Südafrika (1868) Spuren einer älteren, permokarbonen Eiszeit nachgewiesen worden. Später (1871) gelang der Nachweis einer noch weiter zurückliegenden großen Vereisungsphase der Erdgeschichte, die sich während des späten Präkambriums, im sogenannten Vendium (vor 600 Millionen Jahren) abgespielt hatte. Heute kennt man eine zusätzliche Vereisungsperiode am Ende des Ordoviziums (Hirnantium), deren Spuren wahrscheinlich auf die Sahara beschränkt sind. Den ersten umfassenden Überblick über die saharischen Vereisungen bot Deynoux (1980). Darüber hinaus gilt das Vorhandensein weiterer, noch älterer Vereisungsperioden im Präkambrium vor ca. 950 Millionen und vor ca. 2000–2800 Millionen Jahren als gesichert (Hambrey & Harland 1981, Harland et al. 1990).

Die großen Vergletscherungen sind innerhalb der Erdgeschichte Ausnahmereisungen. Die räumliche Verbreitung glazialer Sedimente aus diesen Erdzeitaltern ist zwar inzwischen recht gut bekannt; die genaue Lage zum Pol und die zeitliche Parallelität der verstreuten Vorkommen lässt sich jedoch in vielen Fällen nicht mit Sicherheit rekonstruieren. Fest steht nur, dass auch die alten Vereisungen mehrphasig gewesen sind.

In den Tillit-Serien Schottlands aus dem jüngsten Präkambrium (Port Askeig Formation) sind zahlreiche Lagen zu Stein gewordener Grundmoräne (Tillit) nachgewiesen worden. Glaziale Ablagerungen aus dieser Zeit sind weltweit an vielen Stellen gefunden worden, so dass schließlich gar die Vermutung auftauchte, die Erde sei damals eine Zeit lang durchgehend durch einen kilometerdicken Eispanzer bedeckt gewesen, der jedes Leben unmöglich machte. Besonders die Presse hat diese sensationelle Vorstellung gern aufgenommen. Heute weiß man jedoch, dass es diese *Snowball Earth* in Wirklichkeit nicht gegeben hat. Im São-Francisco-Kraton im südöstlichen Brasilien finden sich verbreitet *black shales*, die während der Neoproterozoischen Vereisung etwa 740 bis 700 Millionen Jahre vor heute gebildet worden sind. Das Gestein enthält bis zu 3 Gewichtsprozent organischen Kohlenstoff, der nur unter der Voraussetzung



Abb. 1.14 Neoproterozoischer Port Askeig Tillit beim Fähranleger in Port Askeig, Isle of Islay, Schottland.

entstehen konnte, dass das Meer eisfrei war (Olcott et al. 2005). Und wenn man die Zusammensetzung des Port Askeig Tillits auf Islay untersucht, so stellt man fest, dass zumindest Teile der Schichtenfolge in offenem Wasser abgelagert worden sind. Die Gletscher der präkambrischen Varanger-Eiszeit waren – genau wie ihre Nachfolger in den späteren Eiszeiten – in ihrer Ausdehnung begrenzt (Harland 2007).

Spuren der permokarbonen Vereisung finden sich verbreitet auf den Südkontinenten (dem ehemaligen Gondwanaland). Sie sind insbesondere in Südafrika gut aufgeschlossen. Zahlreiche neuere Untersuchungen haben ergeben, dass diese Vergletscherungen aus der Frühzeit der Erdgeschichte das volle Inventar an Formen und Sedimenten hinterlassen haben, das wir aus der quartären Vereisung im mitteleuropäischen Raum kennen.

Eine Vereisung am Ende des Ordoviziums ist bisher in Südafrika und in der Sahara nachgewiesen worden. Aus Europa sind lediglich eiszeitliche Ablagerungen aus dem jüngsten Präkambrium (Neoproterozoikum) bekannt geworden (aus Schottland und Norwegen); entsprechende Schichten finden sich auch in Grönland, Asien, Afrika und Australien. Die

ältesten Vereisungsspuren stammen aus Nordamerika (kanadischer Schild und Montana), Südamerika (Brasilien) und Südafrika. Auf diese alten Ablagerungen soll hier nicht weiter eingegangen werden. Die Darstellung in diesem Buch beschränkt sich auf das jüngste Eiszeitalter der Erdgeschichte, das Quartär.

1.3 Eiszeitursachen

Wir leben in einem Eiszeitalter. Selbst wenn gegenwärtig Mitteleuropa frei von Inlandeis ist, gehört die heutige „Warmzeit“ zu den Kaltphasen der Erdgeschichte. Während des ganz überwiegenden Teils der Vergangenheit waren auch die Polregionen eisfrei, und in den gemäßigten Breiten herrschte ein wärmeres Klima als heute.

Die Klimaschwankungen des Eiszeitalters sind heute auf Grund der Untersuchungen an Tiefsee-Bohrkernen und Ablagerungen aus Binnenseen gut bekannt. Innerhalb des Pleistozäns lassen sich 61 Sauerstoff-Isotopenstadien ausgliedern, d. h. jeweils etwa 30 Kalt- und Warmzeiten. Mit Hilfe paläomagnetischer Untersuchungen ist es gelungen, die

Abfolge dieser Kalt- und Warmzeiten so genau zu datieren, dass die Zeitdauer der Schwankungen feststeht. Während der letzten 600 000 Jahre dominierte ein Kaltzeit-Warmzeit-Zyklus von jeweils etwa 100 000 Jahren; davor herrschte ein kürzerer Zyklus von 40 000 Jahren vor. Heute weiß man, dass das Zusammenspiel von drei zyklischen Veränderungen, und zwar der Exzentrizität der Erdumlaufbahn (100 000 Jahre), des Neigungswinkels der Erdachse (40 000 Jahre) und des Zeitpunkts des Perihels (20 000 Jahre) Veränderungen der Sonneneinstrahlung (Insolation) bewirkt. Sie müssen als Auslöser der zyklischen Klimaschwankungen angesehen werden.

Diese Erkenntnis, die in ihren Grundzügen von Milankovitch (1941) dargelegt worden war, stieß zunächst vielfach auf Skepsis. Die Schwankungen der Erdbahnparameter hatten doch während der gesamten Erdgeschichte stattgefunden, während es nach damaligem Kenntnisstand nur vier Eiszeiten gegeben hatte. Erst viel später, als klar wurde, dass sich die Geschichte der Klimaschwankungen weit über die vier klassischen Eiszeiten hinaus zurückverfolgen ließ, wurde deutlich, dass die Milankovitch-Kurve im Prinzip doch richtig war.

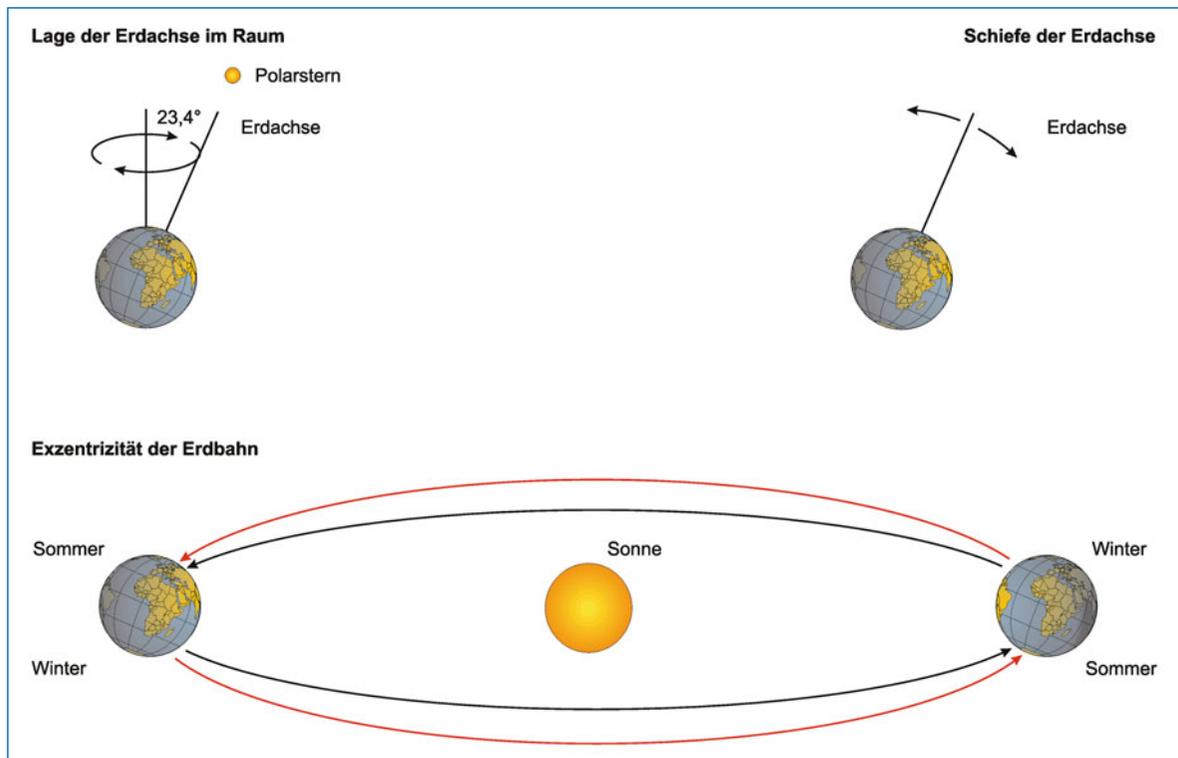


Abb. 1.15 Die Schwankungen der Erdbahnelemente: (a) Präzession, (b) Schiefe der Erdachse, (c) Exzentrizität der Erdumlaufbahn.

Die Bahn der Erde um die Sonne ist nicht konstant

Exzentrizität der Erdumlaufbahn

Die Bahn der Erde um die Sonne ist kein Kreis, sondern eine Ellipse, in deren einem Schwerpunkt die Sonne steht. Die Erdbahn verändert sich unter dem Einfluss der anderen Planeten unseres Sonnensystems. Mal ist sie fast kreisförmig, mal stärker elliptisch. Die Veränderungen erfolgen in einem Zyklus von etwa 100 000 Jahren.

Der Neigungswinkel der Erdachse

Die Erdachse ist zurzeit $23,4^\circ$ gegen die Ebene geneigt, auf der sich die Erde um die Sonne bewegt. Der Neigungswinkel schwankt in einem Zyklus von etwa 41 000 Jahren zwischen $22,1^\circ$ und $24,5^\circ$. Eine geringere Achsneigung führt zu kälteren Sommern in Polnähe, so dass das winterlich gebildete Eis nicht abschmilzt.

Präzession

Die Position der Erdachse im Raum verändert sich kaum. Während die Erde um die Sonne kreist, weist ihre Achse

heute stets nach Norden, in Richtung auf den Polarstern. Langfristig ändert sie jedoch ihre Lage. In 12 000 Jahren wird sie auf die Wega (Sternbild Leier) weisen. Der Zyklus beträgt etwa 26 000 Jahre. Diese Veränderung führt dazu, dass die Erde ihren sonnennächsten Punkt auf der Umlaufbahn um die Sonne (das Perihel) zu verschiedenen Jahreszeiten erreicht. Zurzeit erreicht die Erde das Perihel im Winter.

Die Auswirkungen dieser Faktoren auf den Strahlungshaushalt der Erde sind gering. Eine Grundvoraussetzung, dass sie überhaupt zu Klimaschwankungen führen können, besteht darin, dass auf der Nordhalbkugel große Landmassen in Polnähe vorhanden sind, auf der Südhalbkugel dagegen nur die dauerhaft vergletscherte Antarktis. Zu den Zeiten, in denen die Sommer auf der Nordhalbkugel besonders kühl sind (größte Sonnenferne durch die Exzentrizität, Perihel im Sommer) und wenn die Winter am wärmsten sind (geringste Neigung der Erdachse), sind die Nordkontinente lange Zeit schneebedeckt. Schnee hat eine größere Rückstrahlung (Albedo) als der Erdboden, was zu einer weiteren Abkühlung beiträgt.

Mit Hilfe der Sensitivitätsanalyse hat sich gezeigt, dass die astronomischen Parameter in der Tat als Schrittmacher der Glazial-Interglazial-Zyklen wirken. Dabei kann der Antrieb durch die Sonneneinstrahlung die Klimazyklen auslösen, aber nur bei geringeren CO_2 -Konzentrationen. Langfristige Schwankungen des CO_2 -Gehaltes allein sind nicht ausreichend, Glazial-Interglazial-Zyklen zu erzeugen. Wenn man jedoch die Sonneneinstrahlung und die CO_2 -Schwankungen in der Modellrechnung berücksichtigt, so zeigt sich, dass sich sowohl der Beginn des Eiszeitalters um 2,75 Millionen Jahre vor heute, der frühpleistozäne Zyklus von 41 000 Jahren, der Übergang zu einem 100 000-Jahres-Zyklus um etwa 850 000 Jahre vor heute und die Glazial-Interglazial-Zyklen der letzten 600 000 Jahre nahezu exakt simulieren lassen (Berger & Loutre 2004).

Dieser Glazial-Interglazial-Zyklus von etwa 100 000 Jahren ist nicht nur eines der auffälligsten Merkmale des Quartärs, sondern bestimmt auch die zukünftige Klimaentwicklung. Da jeder der bekannten Klimazyklen dadurch gekennzeichnet ist, dass auf eine lange Kaltzeit ein kurzes Interglazial (circa 10–15 000 Jahre) folgt, und da unser Interglazial, das Holozän, schon 10 000 Jahre lang andauert, könnte man meinen, dass die nächste Eiszeit unmittelbar bevorsteht. Modellrechnungen haben jedoch gezeigt,

dass dies nicht der Fall ist. Die Erde wird innerhalb der nächsten Jahrzehntausende eine annähernd kreisförmige Bahn um die Sonne beschreiben. Dies war zum Beispiel im Marinen Sauerstoffisotopenstadium 11 (MIS 11) vor etwa 400 000 Jahren der Fall, nicht aber in der Eem-Warmzeit (MIS 5e) (Berger & Loutre 2002). Dementsprechend ist für das derzeitige Interglazial wahrscheinlich eine Länge von etwa 30 000 Jahren oder mehr zu erwarten. Die weitere Erhöhung der CO_2 Konzentration in der Atmosphäre durch menschliche Aktivitäten dürfte dazu führen, dass das Grönland-Eis weiter abschmilzt und innerhalb der nächsten 10 000 Jahre vollständig verschwindet.

Die Klimazyklen sind folglich nur der „Schrittmacher“ (Hays et al. 1976), nicht die Ursachen des Eiszeitalters. Schwarzbach (1993) führt als eine mögliche Erklärung für das Auslösen von Eiszeiten große Reliefveränderungen (Gebirgsbildungsphasen) an. Matthias Kuhle (z. B. 1985) ist der Auffassung, dass die Vereisung des Hochlands von Tibet einen erheblichen Einfluss auf die globale Abkühlung während des Pleistozäns ausgeübt hat. Auf Grund seiner Geländeuntersuchungen kommt er zu dem Ergebnis, dass die Schneegrenze in Tibet während der pleistozänen Eiszeiten um 1200–1500 m abgesenkt worden ist, so dass sich ein Inlandeis von einer Fläche von

Die INQUA

Die *International Union for Quaternary Research* (INQUA) ist die weltweite Vereinigung der Eiszeitforscher. Sie wurde auf dem Geographenkongress 1928 in Kopenhagen gegründet. Die Initiative ging von Victor Madsen aus, dem Direktor von *Danmarks Geologiske Undersøgelse*, der damit eine Anregung Polens aufgriff. Die Abbildung zeigt nur einen Ausschnitt der Fotografie, die im Naturhistorischen Museum in Kopenhagen aufbewahrt worden ist. Auf der Rückseite des Bildes sind die Namen der Teilnehmer notiert. Die meisten der seriös dreinblickenden Herren und Damen sind heute völlig vergessen. Von deutscher Seite waren Paul Woldstedt (vordere Reihe, 3. von links, mit Brille) und Rudolf Grahmann (schräg rechts dahinter) anwesend; am anderen Rand der Gruppe steht der Hamburger Professor Gürich, erkenntlich an seinem weißen Spitzbart. Der Österreicher Gustav Götzing, der den dritten INQUA-Kongress 1936 nach Wien holte, findet sich im Mittelpunkt (hinter dem Herrn mit der Zigarre in der Hand). Aber es fällt auf, dass viele wichtige Quartärforscher fehlen. Unter den Anwesenden ist zum Beispiel kein Amerikaner.

Die INQUA war zunächst eine europäische Gesellschaft. Götzing stellte auf dem 2. INQUA Kongress in Leningrad den Antrag, Amerika und Asien einzubeziehen. Die Erweiterung zu einer „Weltassoziation“ wurde auf dem 16. Internationalen Geologenkongress in Washington 1933 gebilligt, und in Wien waren 1936 außer Vertretern der europäischen Nationen auch Wissenschaftler aus Japan, aus Niederländisch-Indien, der Türkei, aus Mexiko, Argentinien und erstmals 5 Wissenschaftler aus den USA anwesend. Insgesamt kamen 193 Teilnehmer (Götzing 1938). In seiner Abschiedsrede am 22. September 1936 schloss Rudolf Grahmann mit den Worten: „Ich schließe daher mit dem Wun-



Abb. 1.17 Abschlussfeier des XVII. INQUA-Kongresses 2007 in Cairns.

sche, dass unsere INQUA wie ein liebes Mädchen sich weiterhin gut entwickeln möge, dass sie wachse und gedeihe und uns in einigen Jahren wieder in ihre Arme nehme! Auf Wiedersehen!“ – Die nächste INQUA Konferenz sollte 1940 in England (Cambridge) stattfinden, aber dazu kam es nicht mehr.

Die internationalen Tagungen, die in vierjährigem Rhythmus stattfinden, wurden nach dem Zweiten Weltkrieg eingestellt. Sie präsentieren die neuesten Forschungsergebnisse und geben den Wissenschaftlern Gelegenheit zum Gedankenaustausch. Die Zahl der Teilnehmer ist dabei inzwischen deutlich angestiegen. An dem XVII INQUA-Kongress 2007 in Cairns nahmen 993 Wissenschaftler aus 51 Nationen teil.



Abb. 1.16 Gründung der INQUA auf dem Geographenkongress 1928 in Kopenhagen. Paul Woldstedt steht in der vordersten Reihe (3. von links). Quelle: Natural History Museum, Kopenhagen.

2,4 Millionen km² ausbilden konnte. Nachdem im Frühquartär das Hochland weit genug herausgehoben worden war, soll es zur Auslösung von Vereisungszyklen gekommen sein, die im Zusammenspiel mit den Strahlungszyklen ausreichten, weltweit großflächige Vereisungen auszulösen (Kuhle 1989).

Es ist unbestritten, dass das Großrelief der Kontinente einen Einfluss auf das weltweite Klima hat. So weisen auch Ruddiman & Kutzbach (1990) auf die bedeutende Rolle hin, die die Heraushebung Tibets und der Hochgebiete im westlichen Nordamerika auf die Allgemeine Zirkulation der Atmosphäre gehabt haben müssen. Modellrechnungen legen jedoch die Vermutung nahe, dass dieser Einfluss auf die Windsysteme für sich allein nicht ausreicht, um Eiszeiten auszulösen. Auch die Herabsetzung des atmosphärischen CO₂-Gehalts, die durch die verstärkte chemische Verwitterung jung herausgehobener Gebiete ausgelöst worden ist, ist als Auslöser des Eiszeitalters diskutiert worden (Raymo et al. 1988, Saltzman & Maasch 1990).

Eine wichtige Grundbedingung für die Auslösung von Eiszeiten scheint in der Verteilung der großen Landmassen auf der Erde zu liegen. Mit Hilfe moderner GIS-Technologie lässt sich die frühere Lage der Erdteile und das ungefähre Aussehen der Erdoberfläche inzwischen recht gut rekonstruieren. Zu ausgedehnten Vereisungen kann es nur kommen, wenn sich entsprechende Landmassen in Polnähe befinden. Während der präkambrischen Vereisungen lagen fast alle Kontinente in der Nähe des Südpols (Blakey 2008). Auch während der permokarbonen Vereisung befand sich der Südkontinent Gondwana in Polposition (Stampfli & Borel 2004). Dasselbe gilt für die ordovizische Vereisung (Stampfli & Borel 2002). Allerdings gilt das zum Beispiel auch für das Devon, ein Erdzeitalter, aus dem keine Vereisungsspuren bekannt sind (Scotese 2008).

Die Verschiebung der Kontinente im Zuge der Plattentektonik blieb nicht ohne Einfluss auf die Meeresströmungen. Das Schließen oder Öffnen wichtiger Meeresstraßen hat einen erheblichen Ein-

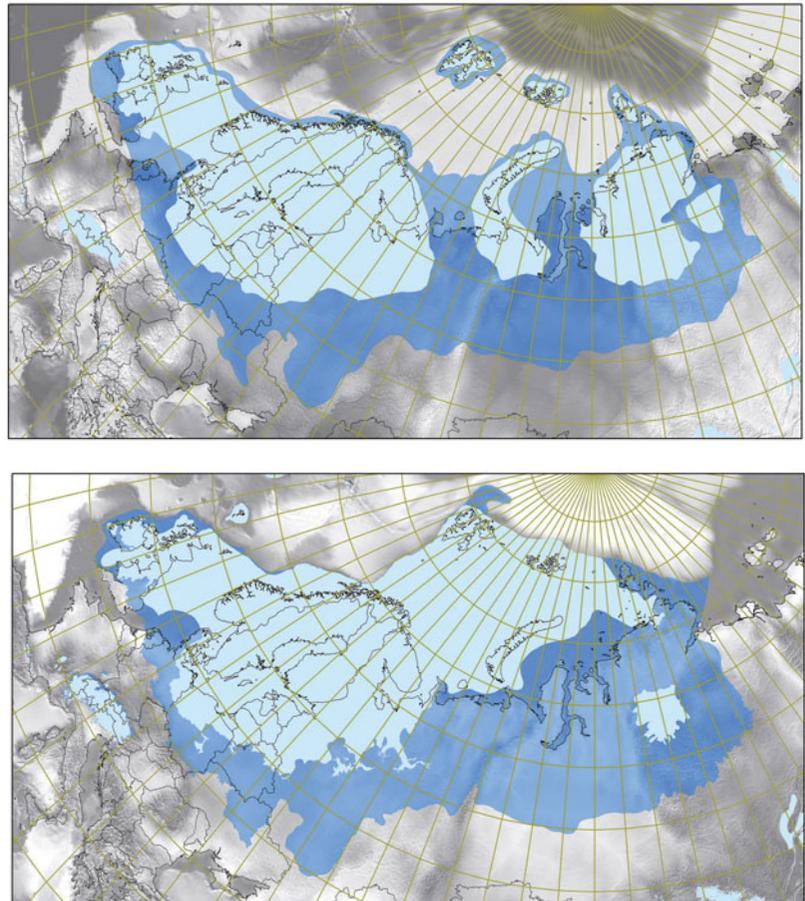


Abb. 1.18 Vergleich der Vereisungsgrenzen während des Höchststandes der Weichsel-Eiszeit in Nordeuropa (hellblau) und der maximalen pleistozänen Vereisung (dunkelblau) zwischen der Darstellung Flints (1971, oben) und der heutigen Auffassung (2010, unten).

fluss auf die ozeanische Zirkulation. Die Trennung Australiens und Südamerikas von der Antarktis und die daraus resultierende Öffnung der Tasmanischen Passage und der Drake-Passage führten im Oligozän zu einer Isolierung der Antarktis von warmem Oberflächenwasser und bildete die Voraussetzung für die Vergletscherung dieses Kontinents. Die Schließung der Straße von Panama hat im frühen Pliozän die parallel zum Äquator laufenden Meeresströmungen unterbrochen und zu einem rascheren nord-südlichen Austausch der Wassermassen in den Weltmeeren geführt und damit die Vereisung der Nordkontinente begünstigt (Smith & Pickering 2003).

Da es im Laufe der Erdgeschichte wiederholt zu Eiszeiten gekommen ist (im Quartär, im Karbon/Perm, im Ordovizium und mehrfach im Präkambrium), stellt sich die Frage, ob ein gemeinsamer Auslöser für diese Vorgänge gefunden werden kann. Da sich diese Ereignisse zum Teil in einem Abstand von etwa 250 Millionen Jahren wiederholt zu haben scheinen, könnte ein Zusammenhang mit der Umdrehung der Galaxis bestehen. McCrea (1975) nahm an, dass das Sonnensystem in diesen Zeitabständen durch Staubwolken in einem der Spiralarme der Galaxie hindurch muss, so dass die Gesamtein-

strahlung herabgesetzt wird. Dennison & Mansfield (1976) widersprachen. Die Frage nach dem Auslöser der Eiszeitalter muss also vorerst offen bleiben. Einen Überblick über die vielen Faktoren, die eine Rolle spielen könnten, gibt Saltzmans Buch *Dynamical Paleoclimatology* (Saltzman 2001).

Die Erforschung des Eiszeitalters hat in den letzten Jahrzehnten erhebliche Fortschritte gemacht. Das gilt nicht nur für die hochtechnischen Disziplinen der Altersbestimmung, der Tiefseeforschung oder der Untersuchung von Bohrkernen aus dem Eis Grönlands und der Antarktis. Selbst bei der Erfassung der Grenzen der Vereisungen sind die Veränderungen gewaltig. Den Unterschied veranschaulicht ein Vergleich der Karte Flints (1971) über die Ausdehnung der nordeuropäischen Vereisung mit der heutigen Darstellung, die auf der im INQUA-Projekt „Extent and Chronology of Quaternary Glaciations“ erarbeiteten digitalen Karte basiert (Ehlers & Gibbard 2004). Auch diese Darstellung musste für dieses Buch aktualisiert werden. Das britische und das skandinavische Eis haben sich auf dem Höhepunkt der Weichsel-Eiszeit in der Nordsee getroffen. Man kann davon ausgehen, dass dies nicht die letzten Veränderungen bleiben werden.



Jan Mangerud erläutert das Eem-Vorkommen von Fjøsanger bei Bergen (Norwegen).

2

Der Ablauf des Eiszeitalters

Mitte der 1970er Jahre wurden in Fjøsanger bei Bergen organische Ablagerungen gefunden, bei denen es sich ganz offensichtlich um warmzeitliche Schichten handelte. Das war eine kleine Sensation, denn bis dahin hatte man angenommen, dass alle derartigen Ablagerungen von den Gletschern der letzten Eiszeit beseitigt worden wären. Die Quartärgeologen der Universität Bergen entschlossen sich, die Schichten genauer zu untersuchen. In den Jahren 1975/76 wurde eine 15 m tiefe Grube bis auf den anstehenden Felsuntergrund ausgehoben, bis 1 m unter dem heutigen Meeresspiegel. Der Fels wies Gletscherschrammen auf; er wurde überlagert von Till, der aus der Saalezeit stammen dürfte. Darüber folgten sandige Schichten mit Molluskenschalen. Die Muscheln gehörten zu einer Kaltwasserfauna. Diese Schichten wurden wiederum von anderen Meeresablagerungen überdeckt, deren Fauna nach oben hin immer wärmer wurde, bis schließlich eine Schicht erreicht war, bei deren Ablagerung das Meer mindestens so warm gewesen war wie heute. Da diese Schicht von zwei weiteren Tills überlagert war, konnte es sich nur um Ablagerungen der Eem-Warmzeit handeln. Dieser Befund, über den Jan Mangerud und seine Kollegen auf der INQUA-Tagung 1977 in Birmingham berichteten, wurde später durch eingehende Untersuchungen bestätigt (Mangerud et al. 1981). Selbst in einer so offensichtlich durch Erosion geprägten Landschaft wie der norwegischen Fjordküste haben ältere Ablagerungen in geschützter Position die Überfahrung durch das Eis der Weichsel-Eiszeit überstanden.

2.1 Wann begann das Quartär?

Der Beginn des Eiszeitalters stellt keinen abrupten Umschwung der klimatischen Verhältnisse dar, sondern einen allmählichen Übergang. Die Tabelle von

Ehlers und Gibbard (2008) zeigt, dass in Teilen der Erde schon im Paläogen Gletscher existierten, während in anderen Gegenden die Vereisungen sehr viel später eingesetzt haben. Infolgedessen muss die Festlegung der Grenze Tertiär/Quartär mehr oder weniger willkürlich erfolgen, wobei für die Abgrenzung unterschiedliche Kriterien denkbar sind.

Etwa 2,6 Millionen Jahre vor heute zeichnet sich in den Sedimenten des Niederrheingebietes eine erhebliche Veränderung ab. Zu dieser Zeit hatte sich das Einzugsgebiet des Rheins im Süden bis in das Alpenvorland ausgedehnt, was in einer drastischen Änderung der Schwermineralführung zum Ausdruck kam (Boenigk 1982). Außerdem wurde zu dieser Zeit die wärmeliebende Vegetation des Pliozäns durch kältetolerantere Pflanzengesellschaften des Quartärs ersetzt. Die Schotterführung des Rheins änderte sich, und auch die Molluskenassoziationen passten sich an das kühlere und wechselhaftere Klima an. Wenn diese Veränderungen auch nicht alle genau gleichzeitig erfolgt sind, so ist in diesem Zeitraum doch ein deutlicher Floren- und Faunenwandel festzustellen, begleitet von einer Umstellung der Sedimentzusammensetzung. Im Niederrheingebiet ist daher schon früh die Grenze Tertiär/Quartär auf die Grenze Reuver/Prätogel gelegt worden.

Auf Beschluss des Internationalen Geologenkongresses 1948 wurde als Grenze Tertiär/Quartär jedoch die Basis des Calabrian (Italien) festgelegt. In den Sedimenten des Calabrian sind im Mittelmeerraum zum ersten Mal Kaltwasser-Indikatoren festzustellen (unter anderem die Foraminifere *Hyalinea baltica*). Die internationale Tertiär/Quartär-Grenze lag damit an der Obergrenze des Olduvai-Events, einer Phase normaler Magnetisierung innerhalb der revers magnetisierten Matuyama-Epoche. Die Grenze war auf diese Weise weltweit und auch in fossilfreien Ablagerungen identifizierbar. Die Position dieser Grenze war auf dem INQUA-Kongress in Moskau (1982) noch einmal bestätigt worden. Viele Quartärforscher waren damit jedoch unzufrieden. Diese Grenzziehung bedeutete, dass es zum Beispiel in Nord- und

Südamerika auch im Pliozän ausgedehnte Vergleichen gegeben hatte. Man bemühte sich weiterhin um eine Korrektur der Grenze.

2.2 Was ist was in der Stratigraphie?

Bei sich überlagernden Gesteinsschichten ist es so, dass die ältesten Schichten unten liegen und von den jüngeren Schichten überlagert werden. Diese Regel, die als „stratigraphische Prinzip“ bezeichnet wird, hat im europäischen Raum erstmals der dänische Wissenschaftler Nicolas Steno (Niels Stensen) im Jahre 1669 formuliert. International verbindliche Richtlinien über die Anwendung dieser Regel gibt es erst seit gut dreißig Jahren (Hedberg 1976). Die meisten stratigraphischen Begriffe sind älter und zum Teil unscharf definiert. Sie müssen neu festgelegt bzw. durch bessere Begriffe ersetzt werden.

Die Stratigraphie gibt die altersmäßige Zuordnung der Gesteinsschichten an. Dies kann über den gesteinsbildenden Inhalt (Lithostratigraphie) oder den Fossilinhalt (Biostratigraphie), über klimagesteuerte Faktoren (Klimastratigraphie) oder morphologische Kennzeichen (Morphostratigraphie), aber auch über eine exakte Altersermittlung (Chronostratigraphie) erfolgen. Die heute am häufigsten gebräuchliche Einteilung erfolgt über die Lithostratigraphie.

In der Lithostratigraphie werden die Gesteine auf der Grundlage der beobachtbaren lithologischen Eigenschaften der Schichten und ihrer relativen stratigraphischen Positionen eingestuft. Beobachtbare lithologische Eigenschaften und nachvollziehbare stratigraphische Position sind die einzigen Kriterien, die bei der Festlegung lithostratigraphischer Einheiten verwendet werden können. Kartierbarkeit ist ein wichtiger Gesichtspunkt für die Brauchbarkeit einer lithostratigraphischen Einheit. Unter Berücksichtigung dieser Erwägungen hat der *Geological Survey of the Netherlands* die alte „lithostratigraphische“ Gliederung des Quartärs in den Niederlanden überarbeitet. Die Revision wurde notwendig, weil (1) die alte Regelung aus der Zeit um 1970 stark auf einer Mischung von bio- und chronostratigraphischen Annahmen beruhte, die zum Teil nicht gesichert waren, und (2) weil sich der Akzent bei der Kartierung von der reinen zweidimensionalen Aufnahme geologischer Karten in Richtung auf die Anwendung geowissenschaftlicher 2,5- bis 3D-Modelle des Unter-

grundes verschoben hat. Das Ergebnis war eine umfassende Umgestaltung der stratigraphischen Tabelle (Weerts et al. 2005, Westerhoff 2009).

Die Grundeinheit der Lithostratigraphie ist die Formation. Diese kann in Untereinheiten (Members) und Schichten oder Bänke (Beds) untergliedert werden. Grube (1981) hat als einer der Ersten versucht, diese international üblichen Gliederungsprinzipien auch in der deutschen Quartärstratigraphie anzuwenden. Doch erst in jüngerer Zeit beginnt sich diese Vorgehensweise in der Praxis durchzusetzen (Mening & Hendrich 2005, Litt et al. 2007).

Selbst ohne diese notwendige Revision ist im Laufe der Zeit eine Vielzahl von stratigraphischen Begriffen entstanden, deren genaue Bedeutung nur dem jeweiligen Spezialisten bekannt ist. Aus diesem Grunde hat die Deutsche Stratigraphische Kommission damit begonnen, eine Datenbank „LithoLex“ einzurichten, in der die in Deutschland verwendeten lithostratigraphischen Einheiten erfasst werden. Die Pflege der Datensätze erfolgt über die für die jeweiligen Erdzeitalter zuständigen stratigraphischen Subkommissionen.

Beim Start der Datenbank im Internet am 07.08.2006 lagen nur etwa 80 Datensätze aus dem Tertiär und der Kreide vor. Mittlerweile ist der Bestand auf ca. 400 Datensätze aus Quartär, Tertiär, Kreide, Jura, Trias-Perm, Devon und Silur-Proterozoikum angewachsen. Es wird jedoch noch Jahre dauern, bis die Sammlung vollständig ist.

Wie ist eine lithostratigraphische Formation definiert? Bei den kaltzeitlichen Ablagerungen umfasst sie die Schichtenfolge eines Eisvorstoßes. Als Beispiel sei hier die lithologische Beschreibung der Kuden-Formation angeführt:

„Oberflächennahe periglaziäre Destruktionszone über Grundmoräne über Vorschüttsanden, relativ selten örtlich überlagert von Niedertausedimenten oder Nachschüttsanden. Die Grundmoräne ist bindig (um 50% Ton und Schluff, 50% Sand und Kies) und in unverwittertem Zustand oft auffallend kreidereich. Sonst ähnelt das Feinkiespektrum der Fraktion 4–6,3 mm den Spektren verschiedener saalezeitlicher Geschiebemergel in der weiteren Region (Kabel 1982, Stephan 1993, 1998). Leitgeschiebeanalysen von Lüttig (unpubl.) erbrachten „drenthetypische“ Geschiebeassoziationen. Schlüter (u. a. 1980) fand in der weiteren Region sowohl „drenthe“- als auch „warthetypische“ Assoziationen. Die liegenden Schmelzwassersande sind überwiegend kiesarm. Der Kiesgehalt nimmt jedoch aufwärts zu, und zuoberst kann Kies vorherrschen und Geschiebe in Steingröße führen.“ (Stephan 2009)

Tränen im Auge

*Es rauscht in den Schachtelhalmen,
verdächtig leuchtet das Meer,
da schwimmt mit Tränen im Auge
ein Ichtyosaurus daher.*

*Ihn jammert der Zeiten Verderbnis,
denn ein sehr bedenklicher Ton
war neuerlich eingerissen
in der Liasformation.*

So dichtete Joseph Victor von Scheffel 1866 über die ausgestorbene Fischechse. Wahrscheinlich würde den Ichtyosaurus heute „der Zeiten Verderbnis“ noch viel mehr jammern, denn der Lias ist inzwischen keine Formation mehr, und überhaupt entspricht er nicht den Anforderungen der modernen Zeit (vgl. Menning & Hendrich 2005). Auch das Quartär, das Eiszeitalter, hätte um ein Haar seinen Status als System in der stratigraphischen Tabelle verloren.

Der Begriff Quartär ist zu einer Zeit entstanden, als noch niemand wusste, dass es auf der Erde eine Eiszeit gegeben hatte. Er wurde genau wie der Begriff *Tertiär* 1760 von Giovanni Arduino eingeführt. Er unterschied aufgrund seiner Beobachtungen geologischer Schichten in Oberitalien eine primäre (Basalte, Granite, Schiefer), sekundäre (fossile Kalkablagerungen), tertiäre (jüngere Sedimentablagerungen) und quartäre (jüngste alluviale Ablagerungen) Epoche. 1829 griff Jules Desnoyers den Begriff bei seiner Untergliederung der Sedimentfolge im Pariser Becken wieder auf. Die quartären Schichten waren deutlich jünger als die tertiären Ablagerungen. Diese jungen Schichten waren zwar in Teilen des Beckens sehr mächtig, aber geologisch nur von geringem Alter. Dadurch ergab sich eine sehr ungleichgewichtige Unterteilung der Erdneuzeit (Känozoikum). Wie ungleichgewicht die Untergliederung war, wurde erst deutlich, als in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts radiometrische Datierungsmethoden zur Verfügung standen. Dem 63,7 Millionen Jahre dauernden Tertiär stand das nur 1,6 Millionen Jahre dauernde Quartär gegenüber.

Die Terminologie Arduinos wurde schon lange als nicht mehr zeitgemäß angesehen. Nachdem die Begriffe *Primär* und *Sekundär* bereits im 19. Jahrhundert aus der stratigraphischen Tabelle verschwanden, wurde schließlich auch das Tertiär im Jahr 2000 aus der international gültigen Geologischen Zeitskala gestrichen. Stattdessen wurde das Känozoikum (die Erdneuzeit) in das Paläogen (früher: Alttertiär) und das Neogen (früher: Jungtertiär) untergliedert.

Und das Quartär? War das nicht überflüssig? Die klima-stratigraphische Definition und Untergliederung dieses jüngsten Abschnittes der Erdgeschichte passte ohnehin nur schlecht zu den übrigen, biostratigraphisch definierten Einheiten. Und der Versuch, zumindest den Beginn des Quartärs biostratigraphisch auf 1,805 Millionen Jahre festzulegen, passte nicht zu den klima-stratigraphischen Befunden.

Als Folge davon verschwand das Quartär im Jahre 2004 aus der Internationalen Stratigraphischen Tabelle – zumindest in dem Buch *Geological Time Scale*, einer offiziellen Publikation der für stratigraphische Fragen zuständigen International Commission on Stratigraphy (ICS) (Gradstein et al. 2005).

Gegen diesen Handstreich haben sowohl die INQUA als auch die nationalen Quartärvereinigungen scharf protestiert. Eine offizielle Publikation? Der Präsident der IUGS, Professor Zhang Hongren, widersprach: Die neue „Geologische Zeitskala“ war nicht vom Vorstand der IUGS ratifiziert worden. Sie war somit nicht bindend. Die dargestellte geologische Zeitskala entspräche lediglich den persönlichen Vorstellungen einiger Mitglieder der ICS. Der Vorstand der IUGS konstatierte weiterhin, dass die ICS gegen die Interessen und Vorgaben der IUGS gehandelt und damit dem Ansehen der ICS und der IUGS geschadet habe (vgl. Internet-Seite der DEUQUA). Das Ergebnis war, dass sich die International Commission on Stratigraphy (ICS) am 21. Mai 2009 nicht nur entschlossen hat, das Quartär zu erhalten, sondern obendrein die Basis des Quartärs auf 2,6 Millionen Jahre vor heute festzulegen. Dieser Beschluss ist am 29. Juni 2009 von der IUGS bestätigt worden.

Also bleibt alles beim Alten? Nein. Die stratigraphische Nomenklatur hat sich gewandelt und wird sich weiter wandeln. Stratigraphische Begriffe werden neu und besser definiert, und das Ziel ist es, die Korrelation über Ländergrenzen hinweg zu verbessern. Eine stratigraphische Einheit, die formal anerkannt werden soll, muss deshalb klar definiert sein. Ober- und Untergrenze müssen festgelegt sein, und es muss eine Typlokalität geben, an der die stratigraphische Position der Formation nachvollziehbar ist. Die Subkommission Quartär der Deutschen Stratigraphischen Kommission findet man im Internet unter www.stratigraphie.de/quartaer.



Abb. 2.1 Saurier „zum Anfassen“ in Hagenbecks Tierpark in Hamburg. Die Echsen sind am Ende der Kreidezeit ausgestorben.

