

Sitzungsberichte
der
Bayerischen Akademie der Wissenschaften
Mathematisch - physikalische Klasse

Sonderabdruck aus Jahrgang 1919

Die Antarktis und ihre Vereisung

von

Erich von Drygalski

Vorgetragen am 11. Januar 1919

München 1919

Verlag der Bayerischen Akademie der Wissenschaften
in Kommission des G. Franz'schen Verlags (J. Roth)

Die Antarktis und ihre Vereisung.

Von Erich von Drygalski.

Vorgetragen in der Sitzung am 11. Januar 1919.

Das allgemeine Bild der Antarktis, das wir nach den Südpolar-Expeditionen der letzten Jahrzehnte in den Atlanten sowohl wie in den Übersichtskarten der Reisewerke finden, ist im großen das gleiche wie vor der neuesten Forschungsperiode, doch im einzelnen wesentlich vertieft, das letztere teils durch unmittelbare Feststellungen geographischer Art, teils durch mittelbare, die aus meteorologischen, ozeanographischen, geologischen, glazialen, biologischen und anderen Forschungen hervorgingen. Wir sehen auf den Karten einen Kontinent, dessen massiger östlicher Teil auf der indischen Seite, also im Viktoria- und Gauß-Quadranten liegt und im Norden mit einem Küstenbogen etwa am südlichen Polarkreis endigt. An ihn setzt sich ein kleinerer westlicher Teil, der hornförmig gekrümmt und zugespitzt erst am 63° südlich von Kap Horn ausläuft. Seine pazifische Küste biegt sich im Roß-Quadranten bis über den 70° zurück, während die atlantische im Weddell-Quadranten mittels eines konkaven Bogens das Ende des Horns mit dem konvexen Küstenbogen des östlichen Teiles verbindet.

Hiernach erscheint die Antarktis wie ein verzerrtes Spiegelbild von Südamerika, und zwar spiegelt sich in dem westlichen Teil nicht nur die äußere Form, sondern in vielen Einzelheiten auch der geologische Bau¹⁾. Im östlichen sind die mas-

¹⁾ J. Gunnar Andersson, On the Geology of Graham Land in Bull. Geol. Instit. of Upsala, VII, 1906, S. 64 ff. O. Nordenskjöld in Um-
Sitzungsab. d. math.-phys. Kl. Jahrg. 1919.

sigen Teile der indischen Seite im Vergleich zu dem Nordosten Südamerikas, dem sie im Bilde entsprechen würden, verbreitert und verkürzt, wie in einem konvexen Spiegel gesehen. Doch der Bau der beiden Kontinente ist auch dort noch vergleichbar, denn beide enden mit altkrystallinen Schollen, die durch sedimentäre Tafeln und durch Decken von Massengesteinen überlagert, auch durch junge Vulkankegel umrandet und durchsetzt werden, der Viktoria-Quadrant der Antarktis sowohl, wie die südamerikanischen Plateaulandschaften von Guayana und Brasilien¹⁾.

Daß die Antarktis ein Kontinent ist, wird jetzt allgemein angenommen und durch obigen Vergleich auch ausgedrückt, da dieser ihr ein den Anden ähnliches, also kontinentales Faltengebirge zuschreibt, welches alte Schollen von kontinentaler Größe und Entwicklung einfaßt. Auch die Vereisung ist kontinental, nämlich ein Inlandeis von unabsehbarer Größe, das überall mit den gleichen Mauern endet, gleichartige Eisberge²⁾ abstößt, stets dieselben Schichtungen und sonstigen Strukturen zeigt, die auf gleiche Ernährungs- und Bewegungsart deuten, und überall ein ähnliches Randklima bildet. Auch der sonstige Charakter des Klimas ist kontinental³⁾, vor allem durch die auffallend niedrigen Sommertemperaturen, die sich von den höheren des maritimen Nordpolargebiets wesentlich unterscheiden⁴⁾; desgleichen hat das Leben im Meer⁵⁾, das die Antark-

schau, 1910, S. 956 f. und Bull. Geol. Inst. Upsala, VI, 2, S. 234 ff. O. Wilckens, Zur Geologie der Südpolarländer im Zentralblatt f. Min. Geol. Paläont., 1906, S. 173 ff. G. Bodman in Wiss. Ergebn. d. schwed. Südpolar-Exp. 1901/3, Bd. III, Lief. 15, S. 85 ff. E. Gourdon in Exped. Antarc. Franc. Geographie Physique Glaciologie Petrographie, Paris 1908, S. 149 ff., 204 ff. E. Suess, Antlitz der Erde, III, 2, S. 552 ff.

1) Ed. Suess, Antlitz der Erde, III, 2, S. 334, 559.

2) H. Arctowski in Bull. Soc. roy. Belge de Geogr. 1901, I, S. 38.

3) W. Meinardus in Deutsch. Südpolar-Exp., Bd. III, S. 5, 317, 329 ff.

4) A. Supan in Pet. Mitt. 1899, Heft XII.

5) Diese Frage ist noch nicht zusammenfassend bearbeitet worden, läßt sich aber nach den vielen zoologischen Einzelarbeiten in den Bänden der Deutschen Südp.-Exp. IX ff. in obigem Sinne vertreten.

tis umgibt, kontinentale Züge und der Schlamm, der dessen Boden bedeckt¹⁾. Der kontinentale Charakter ist einheitlicher als bei den übrigen Kontinenten, weil die Antarktis im Gegensatz zu diesen nur einer Klimazone angehört und durch sie die alles einigende Eisverhüllung empfängt. Die Zusammenhänge, die bei den anderen Kontinenten sichtbar sind, gibt der Antarktis das Eis, auf dem das meiste beruht, was sie als Kontinent charakterisiert.

Vor allem ist die Antarktis auch nach außen ein zusammenhängender Erdraum von kontinentaler Größe, der nach allen Seiten zuerst langsam in einem Schelf²⁾ und dann steil zur Tiefsee absinkt. Die beiden großen Buchten in ihren Küsten, das Weddellmeer und das Roßmeer, stören diese Auffassung nicht, da jenes äußerlich und im Bau wie ein verkürztes Spiegelbild der argentinischen Bucht Südamerikas erscheint und das Roßmeer als Einbruch im antarktischen Nordrand in ähnlicher Lage, wenn auch viel länger und breiter, wie es die Lagune von Maracaibo im Nordrand Südamerikas ist, freilich nicht von ähnlichem Bau. Beide antarktischen Buchten verflachen sich gegen das Land³⁾, beide haben ein Schelfeis, wie es in den Küstenmeeren der Antarktis entsteht und Küsteneinfassung voraussetzt; beide haben Windsysteme⁴⁾, die auf hohe Gebirgsränder schließen lassen, und vom Roßmeer wissen wir durch die Expeditionen⁵⁾ von Scott, Shackleton und Amundsen un-

1) E. Philippi in Deutsche Südp.-Exp., Bd. II, S. 582 ff. J. H. Harvey Pirie in Scott. geogr. Mag. 1905, S. 416. H. Arctowski et A. F. Renard in Mem. Acad. Belg. 61, 1901, Sitzung vom 7. VII. 1900.

2) H. Arctowski siehe Anm. 1. Charcot in La Géographie 23, 1911, S. 5.

3) W. Brennecke in Ann. d. Hydr., 1913, S. 140 und Tafel 3. W. Bruce in Scottish geogr. Mag. 1905, S. 402 ff., sowie Scottish Oceanogr. Labor., 1910, S. 1 ff. R. F. Scott. in The Voyage of the Discovery, Bd. I, Chart. of the ant. Ocean.

4) W. Meinardus in Deutsche Südp.-Exp., Bd. III, 1, S. 338 f.

5) R. Amundsen, Die Eroberung des Südpols, München 1912, Karte. Kapitän Scott letzte Fahrt, Leipzig 1913, Karte. R. E. Priestly und T. W. Edgeworth David in XI. Congrès géologique international 1910, Stockholm 1912, S. 767 ff.

mittelbar, daß es von Gebirgen umzogen ist, deren Höhen und Entwicklung ein tieferes Eingreifen des Meeres in den Kontinent als bis 83° oder 84° s. Br. nahezu ausschließt. So erscheinen beide nicht als trennende, den Kontinent teilende Meere oder Anfänge von Meeresarmen, sondern nur als Buchten, die den Küstenverlauf unterbrechen und gliedern.

Noch eine dritte Stelle der Antarktis ist so aufgefaßt worden, daß von ihr ein Meeresarm ausgeht, der den Kontinent teilt, oder doch tief in ihn einführt, nämlich das Gebiet südlich von Kerguelen. Es waren im wesentlichen zwei Momente, welche zu dieser Auffassung führten, nämlich die Expedition des Amerikaners Morrell 1823 und das polwärts gekrümmte Zurücktreten der äußeren Kante des Treibeises südlich von Kerguelen gegenüber ihrem sonstigen Verlauf in der Ostantarktis. Morrells Berichte sind unklar, doch sie konnten in obigem Sinne gedeutet werden, und die Einbuchtung der Schollen- und Eisberg-Grenze ist vorhanden; sie hatte die Vorstellung von einem südwärts gerichteten warmen Meeresstrom gezeitigt, der das Eis zurückdrängen und vielleicht durch hohe Breiten bis zum Weddellmeer führen sollte.

Beide Gründe dürfen heute als beseitigt gelten. Denn Morrells Berichte sind berechtigten Zweifeln begegnet, denen schon G. v. Neumayer¹⁾, H. R. Mill²⁾, K. Fricker³⁾ und O. Nordenskjöld⁴⁾ bestimmten Ausdruck gegeben haben. Ich teile diese Zweifel vollkommen, da ich es nach den jetzt bekannten Wind-Wellen und Eis-Verhältnissen an dem von Morrell berichteten Weg, gleichgültig, ob er von 118° 27' östl. Länge v. Gr. bis Enderby-Land nördlich oder südlich vom Polarkreis lag, für völlig ausgeschlossen halten muß, daß seine Fahrt mit einem Segelschiff in der kurzen Zeit zurückgelegt sein kann, die er angibt. Bei dieser Unsicherheit der Grundlagen kann

¹⁾ Hamburger Geographentag 1885, auch Auf zum Südpol, Berlin, S. 246 ff.

²⁾ The Siege of the South Pole, London 1905, S. 104 ff.

³⁾ Antarktis, Berlin 1898, S. 48 f.

⁴⁾ Schwed. Südpol.-Exp., I, 1, S. 44 ff.

seine Expedition jedenfalls keine Meeresbucht oder Straße in der Antarktis südlich von Kerguelen beweisen. Und auch für den Strom, den vor allem G. v. Neumayer¹⁾ annahm, sind keine Beweise erbracht worden, wohl aber manche dagegen, so daß man ihn nicht mehr annimmt²⁾. Es ist zwar richtig, daß der Rand des Treibeises südlich von Kerguelen polwärts zurücktritt, doch die Gründe dafür liegen in nordwärts und nicht in südwärts gerichtete Strömungen.

Ob nun trotz Versagens der ursprünglichen Gründe in der Küste des Kontinents eine Bucht südlich von Kerguelen besteht, wie es in der Grenze des äußeren Eisrandes der Fall ist, und in welcher Tiefe, ist durch unmittelbare Beobachtungen noch nicht festgestellt worden. Es ist aber anzunehmen, daß sie in geringem Ausmaß besteht, etwa im Meridian von Kerguelen (70°) oder etwas östlich davon, gegen den 80. Meridian hin, daß sie aber breit und flach ist und nicht tief hinein führt. Es ist nur eine leichte Einbiegung der dort sonst dem Polarkreis folgenden Küste, nicht ein tiefer Einbruch, der den Kontinent teilt, auch nicht der Anfang einer Meeresstraße, die ihn durchzieht. Dafür sprechen die folgenden Gründe:

Der „Challenger“ hat am 16. II. 1874 bei 78° 22' östl. L. Gr. 66° 40' s. Br. erreicht und der „Gauß“ am 30. III. 03 bei 80° 33' östl. L. Gr. 65° 27' s. Br. Beide sahen bei gutem Wetter kein Land. Der „Challenger“ hatte bei seiner südlichsten Lotung unter 65° 42' s. Br. und 79° 49' östl. L. Gr. 3063 m Tiefe und der „Gauß“ unter 65° 16' s. Br. und 80° 28' östl. L. Gr. 3400 m. Das zeigt ähnliche Tiefen und Neigungen des Meeresbodens, wie sie der „Gauß“ weiter östlich am 93. Meridian um den 64° s. Br. fand. Hier lag die Küste fast 3° weiter südlich. Nimmt man dieselben Verhältnisse für den 80. Meridian an, würde sie an ihm etwa bei 68½° s. Br. zu suchen sein. Die Einbuchtung wäre also sehr flach. Legt man aber die Erfahrungen von W. Bruce³⁾ zu

¹⁾ Auf zum Südpol, Berlin, S. 61, 114, 163.

²⁾ O. Krümmel, Ozeanographie, Bd. II, Stuttgart 1911, S. 680.

³⁾ Scott. geogr. Mag. 1905, S. 408 f. Scott. Oceanogr. Labor. 1910, S. 6.

Grunde, der für die Weddellsee schon bei Tiefen von weniger als 2000 Faden (3658 m) auf größere Nähe der Küste schließt, würde diese am 80. Meridian nördlich von 68° s. Br. zu suchen und die Einbuchtung noch flacher sein.

Daß die Küste auch tatsächlich von den südlichsten Punkten des „Challenger“ und „Gauß“ nicht mehr fern lag, haben beide aus der Fülle der frischen Eisberge geschlossen, die sie dort sahen, und die man ähnlich immer in Landnähe findet. Auch die Nord und Nordwest gerichteten Oberflächenströmungen am dortigen Wege des „Gauß“ ergaben den gleichen Schluß, da sie 10° weiter östlich in dieser gleichen Form vor der Küste auftraten. Urteilt man nach dem Küstenstreichen, das der „Gauß“ weiter östlich fand (Deutsche Südp.-Exp. I, Tafel 17), wäre das Land am 80. Meridian zwischen 67° und 68° s. Br. zu suchen, und desgleichen, wenn man seine Lage mit W. Meinardus nach dem Isobarenverlauf beurteilt¹⁾.

So vereint sich alles, was man kennt, zu demselben Ergebnis²⁾, daß die Einbuchtung der antarktischen Küste südlich von Kerguelen nur flach ist. Natürlich wäre es erwünscht, das Land dort selbst zuerreichen, doch wird eine darauf zielende Expedition mit Sicherheit damit rechnen müssen, daß die Küste nur 1 oder 2 Grade südlicher liegt als am Gaußberg, also bei 68° oder 69° s. Br., und daß ein Schiff dort nicht in hohe südliche Breiten vordringen kann. Wenn sie der „Challenger“ von 66° 40' s. Br. nicht sah, ist es nicht zu verwundern; wir konnten von der Gaußstation die noch nicht 1° südlich von ihr gelegene Inlandeisküste auch nicht sehen und nur ausnahmsweise den in derselben gelegenen 371 m hohen Gaußberg, der sich seiner dunklen Farbe wegen weithin abhob. Das Inlandeis sahen wir bei klarem Wetter nur als hellen Schein, ähnlich wie es der „Challenger“ für seine Sicht nach Süden hin angibt³⁾; er wird die Küste daher am 68° s. Br. oder noch näher gehabt haben.

1) W. Meinardus in Deutsche Südp.-Exp., Bd. III, S. 319 ff.

2) L. Mecking in geogr. Zeitschr., XV, S. 440 f.

3) H. R. Mill, The Siege of the South Pole, S. 356.

Über die Einzelheiten der Küste am Wege des „Gauß“ ist schon berichtet worden (Deutsche Südp.-Exp. I, S. 381, 448 f., Tafel 17). Wir fanden eine einförmige Ostwest bis ONO-WSW ziehenden Inlandeismauer, die nur am Gauß-Berg und durch seinen Einfluß auf das Strömen und die Ablation des Inlandeises eine geringe Veränderung erfährt. Westlich vom Gaußberg ist ihr eine breite Schelfeismasse vorgelagert, östlich eine Insel, die wir am 21. II. 02 als „Hohes Land“ sichteten, und die später D. Mawsons Expedition 1911/14 als Insel erkannte und Drygalski-Insel benannte¹⁾. Östlich von ihr liegen nach Mawson vor der Küste wieder gewaltige Schelfeismassen.

Termination-Land, das Ch. Wilkes von 64° 1' s. Br. und 97° 37' östl. L. Gr. als „appearance of land“ am 17. II. 1840 sichtete²⁾ und das später von anderen so benannt und auf der Karte verzeichnet wurde, ist nicht vorhanden, wie „Challenger“³⁾, „Gauß“⁴⁾ und Mawson⁵⁾ übereinstimmend bekunden. Wilkes ist etwa 70 km von ihm, also von seiner „appearance of land“ entfernt gewesen, der „Challenger“ hatte 30—40 km und der „Gauß“ dicht vor dem Nordende der Position desselben gestanden, beide ohne Land zu sehen. Mawsons Expedition ist 1912 und 1914 sogar darüber hinweg gefahren. Es ist also sicher, daß kein Land vorhanden ist, wo das Termination-Land nach Wilkes gezeichnet wurde.

Wenn jetzt aber gesagt wird, daß es doch vorhanden wäre⁶⁾ und nur weiter südwestlich läge, als Wilkes annahm,

¹⁾ Sir Douglas Mawson, *The home of the blizzard*, London, Bd. II, S. 113, 120, 270, auch Karte des Queen Mary Land.

²⁾ *Narrative of the U. S. Exploring Expedition 1838/42*, Bd. II und Atlas Karte 2, London 1845. Auch „*The Antarctic Manual*“, London 1901, S. 402.

³⁾ *Narrative of the Cruise of the Challenger*, I, S. 407. Auch H. N. Moseley, „*Notes by a naturalist on the Challenger*“, London 1879, S. 250.

⁴⁾ E. v. Drygalski, *Zum Kontinent des eisigen Südens*, Berlin 1904, S. 232 f.

⁵⁾ D. Mawson, *The Home of the Blizzard*, London, Bd. I, S. 9, 77.

⁶⁾ W. Bruce in *Scottish geogr. Mag.* 1911, S. 315.

indem es mit dem „Hohen Land“ des „Gauß“, der „Drygalski-Insel“ Mawsons identisch wäre, so ist zu erwidern, daß diese über 200 km südwestlich von dem angeblichen Termination-Land liegt und über 300 km von Wilkes Standort entfernt, als er die Landsichtung hatte. Wilkes konnte sie daher unmöglich sehen, zumal er unsichtiges Wetter hatte, denn sie ist nach Mawson¹⁾ nur 1200 Fuß (rund 400 m) hoch, wäre von Wilkes Mast also höchstens aus 100 km Entfernung sichtbar gewesen. Sein Schiffsort hätte daher in Länge fast 4° und in Breite fast 2° anders gewesen sein müssen, als er angibt, falls er es sah. Das ist auch bei der Schwierigkeit polarer Positionsbestimmungen nicht möglich, zumal Wilkes einer Eisbergbank wegen diese andere Position, aus der er die Insel hätte sehen können, nur auf Umwegen und schwer erreicht haben würde. So ist anzunehmen, daß seine „appearance of land“ eine Täuschung durch Eis war, wie sie leicht vorkommen kann, zumal bei unklarem Wetter, wie er es hatte. Dieses ist jetzt durch Mawsons Feststellung, daß für Wilkes in der Richtung auf sein Termination-Land eine Bank mit festen Eisbergen liegt, zur Sicherheit geworden; Mawson hat die letztere daher als „Termination Ice Tongue“ bezeichnet²⁾.

Über die Größe des antarktischen Kontinents habe ich keine neue Berechnung angestellt, weil die Lage seiner Küsten nicht zur Hälfte bekannt ist und, wo man sie kennt, erhebliche Unsicherheiten darin liegen, was man als Küste ansieht, ob den Rand des Schelfeises oder des Inlandeises oder gar den, mit welchem sich der Gesteinsboden unter dem Inlandeis aus dem Meere erhebt.

Der Rand des Schelfeises bezeichnet, von geringen Schwankungen abgesehen, die heutige Lage der Küste, als der Grenze zwischen dem festen und dem flüssigen, für längere Zeiten, der Rand des Inlandeises für solche von geologischer Dauer, nämlich solange die heutige antarktische Eiszeit währt, doch erst der Rand des festen Gesteins in sonstigem Sinn, so-

1) A. a. O., Bd. II, S. 270.

2) A. a. O., Bd. I, S. 77.

lange keine Hebungen oder Senkungen eintreten. Das Inlandeis strömt über die letztere hinaus und endigt im Meere, wo es den Boden verliert und zu schwimmen beginnt, und das Schelfeis geht noch über die Inlandeisgrenze hinaus, da es fast durchweg schwimmt. So wird das Areal des Kontinents sich am größten ergeben, wenn man bis zur Schelfeisgrenze rechnet und am kleinsten, wenn man die Gesteinsgrenze annimmt. Die gegenseitigen Beziehungen der drei Grenzen wechseln von Ort zu Ort mit den Formen des Landes und des Meeresbodens, sowie mit der Dicke des Eises; sie sind nur an kleinen Küstenstrecken der Antarktis bekannt. Es fehlen also die Grundlagen, um die drei Areale zu vergleichen, und damit die Möglichkeit, das Areal des Kontinents genauer festzustellen, abgesehen davon, daß über die Hälfte der Küsten überhaupt noch nicht gesichtet ist.

W. Bruce¹⁾ schätzt die Größe des Kontinents zu 14,2 Millionen □ km. Sie mag etwas kleiner sein, weil das Weddellmeer größer ist, als Bruce annimmt, also etwa 14 Mill. □ km rund. Das wäre fast doppelt so groß, wie Australien, rund 3½ Mill. □ km kleiner als Südamerika und nahezu halb so groß wie Afrika. Die Antarktis fügt sich also gut in die Größenreihe der Südkontinente ein. Rechnet man deren Areale zusammen, erreicht die Summe sehr nahe den Flächeninhalt der Nordkontinente, so daß man nach diesen Feststellungen in der Antarktis von dem in alten Zeiten erörterten Gleichgewicht der Festlandareale beider Hemisphären sprechen kann.

Ich habe den Südpolar-Kontinent in obigem „Antarktis“ genannt, doch sind auch andere Namen gebraucht. Man liest Antarktika, auch Antarktia oder Antarktien. L. Mecking²⁾ erörtert die Namensfrage und vermißt für Antarktika sachliche Begründung, es sei denn, daß diese in der Analogie mit der Namensbildung Amerika läge, also einer nicht glücklichen, weil sie sowohl in ihrem Recht der Herkunft wegen bis heute bestritten ist, wie in ihrer Zweckmäßigkeit wegen der Unbe-

¹⁾ Scottish geogr. Mag. 1906, S. 373.

²⁾ Pet. Mitt. 1914, S. 396.

quemlichkeit des Gebrauchs für zwei Kontinente. Auch wäre das Wort *antarktika* schon in anderem Sinne, nämlich als Adjektiv gebräuchlich und deshalb ungeeignet, um weitere Ableitungen, z. B. *antarktikanisch*, davon zu bilden. Meckings Gründe sind berechtigt; *Antarktia* oder *Antarktien*, das er vorschlägt, ist besser, wenn man „*Antarktis*“ für den Kontinent und das ihn umgebende Eismeer zusammen, nicht aber für den Kontinent allein gebrauchen will. Im übrigen ist aber der Kontinent in seinem weitesten Umfang, d. h. bis zum Rande des Schelfes, derart der Kern und der Inhalt und die Summe aller „*antarctica*“, d. h. alles dessen, was *antarktisch* ist und der anders garteten „*Arktis*“ gegenüber liegt, daß man den Namen „*Antarktis*“ auf ihn allein beziehen darf.

Denn nur er steht voll unter der Herrschaft des Eises. Er ist vom Eise bedeckt oder doch davon gestaltet; sein Schelf trägt Eis oder ein seichtes Meer, dessen Temperatur bei der Gaußstation bis zum Boden auf dem Gefrierpunkt stand, während die Böschung des Schelfs und die Tiefsee daneben schon Wärmeschichtung hatten, also heterotherm waren. Auf dem Schelf¹⁾ des Alexanderlandes greifen die heterothermen Verhältnisse etwas weiter hinauf, weil die Küste dort freier liegt, doch betont Arctowski²⁾ auch für dieses westantarktische Gebiet den thermischen Unterschied zwischen Schelfmeer und Tiefsee; im Weddellmeer³⁾ war es so wie an der Gaußstation. Auch das Leben der Tiefsee ist scharf von dem des Schelfs unterschieden; nur dieses ist *antarktisch*⁴⁾, während jenes zum Leben der Ozeane hinüber leitet. Im Klima sind die Randgebiete des Eises und des Meeres daneben durch die gleichen

1) H. Arctowski und H. R. Mill in *Exp. Antarct. Belge, Oceanographie, Relations Thermiques*, Anvers, 1908, Tafel III.

2) *Bull. Roy. de Belgique (Classe des sciences)*, No. 11, S. 648.

3) W. Brennecke in *Annal. d. Hydr.*, 1913, S. 140 und *Zeitschr. d. Ges. f. Erdk.*, Berlin 1914, S. 123. O. Nordensjöld in *Wiss. Ergebn. d. Schwed. Südp.-Exp.*, Bd. I, Lief. 2, S. 20 und Tafel 2.

4) E. Vanhöffen, *Die Tierwelt des Südpolargebiets* in *Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde*, Berlin 1914, S. 363.

Erscheinungsformen der Winde und der Niederschläge vereinigt¹⁾, doch unmittelbar am Rande des festen zeigt sich im Charakter der Winde und der anderen meteorologischen Elemente trotzdem ein Sprung²⁾. Also endigt in jeder Hinsicht mit der Grenze des Kontinents, wo er zur Tiefsee abfällt, die reine antarktische Natur, und man darf deshalb den Namen „Antarktis“ auf jenen beschränken. Das tiefe Meer mit dem vielen Treibeis, das ihn umgibt, ist nur noch ein wechselvolles Kampfgebiet zwischen Eis und Meer und nach allem zur „Subantarktis“ zu rechnen.

§ Das Eis der Antarktis besteht aus zwei Arten, dem Inlandeis und dem Schelfeis; das Treibeis der Subantarktis tritt als dritte Art des hohen Südens dazu. Das Inlandeis gehört zum Land, das Schelfeis zum flachen Meer und das Treibeis zur Tiefsee. Ersteres liegt dem festen Gestein auf, das zweite nur noch zum Teil, während es zum größeren Teil schwimmt, und das Treibeis schwimmt ganz. Das Inlandeis hat eine strömende Eigenbewegung, die auf inneren Vorgängen beruht und in Verschiebungen seiner Teile gegeneinander und gegen den Boden besteht. Das Schelfeis wird durch äußere Kräfte (Gezeiten, Fluten, Winde, nachdrängendes Inlandeis) gehoben oder geschoben und das Treibeis durch alle Bewegungen des Meeres lebhaft hin und her geworfen oder getrieben.

Das Inlandeis ist Schnee-Eis und entsteht aus den festen Niederschlägen, die periodisch auf das Land fallen, wodurch es seine Schichtung erhält. Es hat Beimengungen von Schmelzwassereis, doch spielen sie keine erhebliche Rolle. Es hat auch Beimengungen von Staub, doch nur in der Nähe von eisfreiem Land und, da dieses selten ist, relativ wenig. Dagegen enthält es sehr viele Luftblasen und ist deshalb spezifisch leicht. Die Folgen seines Strömens sind Spalten, Bänderungen und Moränen. Die Spalten werden sehr breit und die Bänderungen sehr dicht, während die Moränen klein bleiben, was alles daher

¹⁾ W. Meinardus in Deutsche Südp.-Exp., Bd. III, 1, S. 334.

²⁾ W. Meinardus, a. a. O., S. 216 ff., 317 f.

rührt, daß das Strömen langsam ist und das Eis sehr alt wird, bis es vergeht. In der Härte des Klimas brauchen alle Umbildungen und Wirkungen des Eises sehr lange Zeiten.

Auch das Schelfeis ist Schnee-Eis, wenigstens weit überwiegend. Seine Hauptmenge ist abgestoßenes oder aufgelöstes Inlandeis und hat dann alle Eigenschaften desselben, Zusammensetzung, Schichtung, Bänderung, Spalten, Moränen. Zum anderen Teil ist es im Meere gebildet¹⁾, durch das Wachstum und durch Schneebelastung der Schollen oder durch Füllung seichter Meeresteile mit Schnee. Dann enthält es Beimengungen von Meer-eis, doch selten und wenig, weil dieses bei zunehmender Schneebelastung von oben nach unten tiefer eintaucht und dabei vergeht. Es hat dann auch andere Eigenschaften des Meereises, insbesondere dessen Schollenform und Schollenstruktur, während die Eigenschaften des Inlandeises nun naturgemäß fehlen. Beide Arten des Schelfeises tragen die Zeichen hohen Alters, sowohl in den abgeschliffenen runden Formen, die ich Blau-eis genannt, wie in den zersetzten, zerfallenden, die von mir als Mür-eis beschrieben wurden. Soweit das Schelfeis vom Inlandeis kommt, wird es tatsächlich aus dessen ältesten, innersten Teilen bestehen, während das im Meer gebildete jünger sein kann; doch alte Formen haben beide, weil sie nur äußeren Kräften ausgesetzt sind und jede innere Weiterbildung und Erneuerung fehlt.

Beim Treibeis kehrt sich das beim Schelfeis bestehende Mischverhältnis zwischen Land- und Meer-Eis um, indem es hauptsächlich aus Schollen, also Meereisbildungen, und zum kleineren Teil aus Eisbergen, also Inlandeisstücken, besteht. Trotzdem ist es auch überwiegend Schnee-Eis, was bei den Eisbergen keiner Begründung bedarf und bei den Schollen daher rührt, daß ihre ursprünglich aus Meerwasser gefrorenen Teile infolge von wachsender Schneebelastung immer tiefer eintauchten und dabei vergingen, während gleichzeitig die Schneelast selbst vereiste und übrig blieb. Immerhin enthalten die Schollen des Treibeises mehr Meerwassereis als die des Schelf-

¹⁾ O. Nordenskjöld in Schwed. Südp.-Exp. I, 1, S. 119.

eises, weil sie in der Regel jünger sind als bei diesem, und deshalb nicht so lange Schneebelastung und Senkung erfahren. Die Eisberge des Treibeises haben alle Eigenschaften des Inlandeises und des Schelfeises, da sie von beiden herkommen. Die Schollen haben meist flache Formen bis etwa 6 m Dicke, seltener mehr. Nur wenn sie Teile zerbrochener Schneewehen sind, können sie bis zu 20 m Dicke erreichen und als kleine Berge erscheinen, die aber mit den wirklichen Bergen nicht zu verwechseln sind. Sie sind feiner geschichtet als diese. Die flachen Formen haben auch Schichtung, doch unregelmäßig und wenig hervortretend.

Alle Schollen haben deutliche Zeichen ihres Treibens im Meer in aufgefressenen oder aufgeworfenen Trümmerwällen, die sie umranden, in Schmelz- oder Brandungskehlen in der Wasserlinie, in Strudellöchern, die von den Kehlen ausgehen, in Pilz- oder Tisch-Bildungen auf ihren Oberflächen, wenn die Kehlen so tief eingegriffen haben, daß die Oberfläche nur noch auf Stützen steht, in Abrundungen aller Ecken und Kanten zu den Formen des Pancake-Eises und zu jenen „Gasch“ genannten breiigen Zertrümmerungsprodukten dazwischen. Man sieht im Treibeis verschiedene Alters- und Dicken-Stadien der Schollen, und diese verschiedenen Stadien meist in Gruppen gesammelt, doch die schwersten Schollen sieht man am meisten, weil sie sich am längsten halten. Eispressungen und Schollenpackungen, wie sie als Packeis aus der Arktis bekannt sind, sieht man im Süden selten, weil das Treibeis radial ins freie Weltmeer ausstrahlen kann, während es sich in der Arktis zwischen Landmassen schiebt und preßt.

Die Entstehung und Verbreitung der drei Eisarten des Südens hängt wesentlich von dem antarktischen Kontinent ab. Nur ein kontinentales Land in der polaren Lage kann ein so gewaltiges Inlandeis bilden, wie es die Antarktis trägt; nur dieses Inlandeis kann das polare Klima noch weiter verhärten, so daß es überall Schelfeismassen in die Flachsee schiebt und darin hält, und nur das Inlandeis, das Inlandeisklima und das Schelfeis zusammen können durch Eisberg-Bildungen, durch die

Abkühlung des Meeres und durch die Verbreitung kalter Strömungen derart breite Treibeiszonen erzeugen wie dort. So liegen im polaren Kontinent die Bedingungen der antarktischen Eisformen und ihrer Verbreitung.

Über die Einzelheiten der Frage, wie das Inlandeis einmal entstanden ist und unter welchen klimatischen Bedingungen, wird man schwer eine Vorstellung bilden können, da das heutige Klima mit vom Eise bestimmt wird und man dessen Einfluß nicht mehr auszuschalten vermag. Wichtiger ist auch die andere Frage, wie und wie weit sich das antarktische Inlandeis heute erhält, also die Frage nach seiner Ernährung und seinen Schwankungen.

Über die Ernährung durch Schnee im Sommer wie im Winter steht nach den Beobachtungen der letzten Forschungsperiode übereinstimmend fest, daß sie überall bis zum Meeresspiegel herab erfolgt, sowohl auf den größten Höhen des Inlandeises, die betreten sind, wie in seinen Randgebieten am Meer. Denn Scott¹⁾, Shackleton²⁾, Amundsen³⁾ berichten von Schneedecken und Schneewehen auf den Plateauhöhen des inneren Landes, wie von der Oberfläche des im Meere schwimmenden Roß-Eises⁴⁾. Wir fanden das Meereis selbst noch wesentlich durch Niederschläge verdickt und sahen wachsende Schneewehen auf dem Gauß-Berg und auf den Randgebieten des Inlandeises, das ihn umgibt. Mawson erwähnt die Schneebedeckung der Inlandeis-Oberfläche im Randgebiet des Königin Marie und des Kaiser Wilhelm II Landes während der Schlittenreise im Dezember und Januar, also im antarktischen Sommer⁵⁾, desgleichen von den Höhen des Adelie- und des

¹⁾ Kapitän Scott letzte Fahrt. Leipzig 1913, Bd. I, S. 290 ff., 299 ff., 305 ff.

²⁾ E. H. Shackleton, *The geogr. Journ.* 34, 1909, S. 490 ff.

³⁾ Die Eroberung des Südpols, München 1912, Bd. II, S. 569, 584, 600, 610.

⁴⁾ H. T. Ferrar in *National antarctic Exped. 1901/4*, vol. I, S. 24, 64, 67 ff., 83 ff. R. F. Scott, *The voyage of the Discovery*, London 1905, Bd. II, S. 22 ff. W. H. Hobbs in *Zeitschr. f. Gletscherkunde*, 1910, S. 64 f.

⁵⁾ *The Home of the Blizzard*, Bd. II, S. 124.

König Georg V Landes¹⁾; Arctowski²⁾, Charcot³⁾, Gourdon⁴⁾ berichten über die Entwicklung der Eismassen aus Schnee an der Graham-Küste und am Gerlache-Kanal, auf den Höhen sowohl wie im Meeresniveau, und Nordenskjöld⁵⁾ vom Schelfeis im Meere vor der König Oskar II Küste und von den Inseln um seine Winterstation auf Snow Hill; durchweg schneebedeckt war auch das Inlandeis im Luitpoldland⁶⁾. Nur vom Weddellmeer wird durch Barkow⁷⁾ auffallende Schneearmut betont, doch betrifft das nicht ein Inlandeisgebiet, sondern fern von dessen Rändern liegendes Meereis. Von allen Hochflächen und Randzonen des Inlandeises, welche gesehen wurden, ist festgestellt, daß sie weithin unter Schnee liegen, also zu den Nährgebieten gehören. Von allen wird auch Schichtbildung beschrieben, die solchen eignet, desgleichen von allen Rändern die Ablösung geschichteter Eisberge, welche die Ernährung bis zum Rande bekunden, und auf den Bildern aller Expeditionen, auf denen eisfreie Felsen dargestellt sind, sieht man die Schneeflächen an diesen emporsteigen, wie es für Nährgebiete charakteristisch ist.

Die Ernährung ist aber an allen betretenen Stellen keine gleichmäßige, da immer schneefreie, also nicht ernährte Gebiete die schneebedeckten unterbrechen. Ich habe das vom Inlandeis am Gauß-Berg, vom Berge selbst und vom Meereis geschildert. Ferrar⁸⁾ spricht von jenem Mangel an Ernährung, der die toten Gletscher der Royal Society-Kette entstehen läßt, und in der ganzen Westantarktis sind ausge dehnte Hänge eisfreien Landes und Flächen schneefreien Eises der sichere Beweis, daß trotz reichlichen Schneefalls im Winter

1) The Home of the Blizzard, Bd. I, S. 287 ff.

2) Exped. antarct. Belge, Geologie, Anvers 1908, S. 39 ff., sowie Océanographie, S. 20 ff., auch Pet. Mitt., Erg.-Heft 144, 1903, S. 7, 23.

3) Le Français au Pol Sud, S. 74.

4) Exped. antarct. Française 1903/5, Geographie Physique, S. 71 ff.

5) Schwed. Südpolar-Exped., Bd. I, Lief. 1, S. 164 ff.

6) Nach freundlicher Mitteilung von Dr. F. Heim.

7) Meteorolog. Zeitschr. 1914, S. 123.

8) Nat. Ant.-Exped. 1901/4, Bd. 1, Geology, S. 73, 85.

wie im Sommer, trotz allgemeinen Überwiegens der Niederschlagsmengen über den Schwund, der durch Schmelzung und durch Verdunstung entsteht, trotz der überall erkannten Dauer der Schneedecken das ganze Jahr hindurch bis zum Meere herab — auch mangelhaft oder gar nicht ernährte Gebiete bestehen¹⁾. Die von E. Werth²⁾ angeschnittene Frage, ob dieselben zum Teil unter der Schneegrenze liegen und ob diese in der Antarktis stellenweise über dem Meeresniveau liegt, werde ich weiter unten verneinen. Wichtiger ist zunächst, daß es Fels- und Eisflächen gibt, die sicher über der Schneegrenze liegen, viele schneeige Niederschläge erhalten, vom Eise umgeben werden und doch nicht vereisen.

Den Gründen und dem Ausmaß dieser Erscheinung, sowie der Frage, wie wirksam sie für den Eisbestand und seine Schwankungen ist, ob die ernährten oder die schwindenden Gebiete die Oberhand haben und ob das Inlandeis wächst oder abnimmt, kann man zunächst in zweierlei Weise nachgehen, nämlich von der Lage und von den Formen der schneefreien Flächen her.

Der Lage nach finden wir die größeren Ablations- oder nicht ernährten Gebiete sowohl in den hohen, ins Innere der Antarktis vorgeschobenen Ketten des Viktorialandes wie in der niedrigen, halbinselförmig in den Ozean vortretenden Westantarktis, und kleinere Flächen auch sonst überall. Die beiden Hauptgebiete sind und liegen so verschieden wie möglich. Nicht nur ihre Höhe und Polentfernung, sondern auch ihre Formen, ihr Bau und ihr Gestein ist verschieden. Daher muß man annehmen, daß es auf alles dieses nicht wesentlich ankommt, sondern mehr auf äußere Ursachen, und diese kann man aus den Formen der schneebedeckten und der schneefreien Flächen erkennen.

Diese Formen zeigen nämlich, daß der Schnee in der Antarktis selten ruhig fällt und daß er immer durch die Winde zu Wehen geordnet wird, auch wenn er still gefallen war.

¹⁾ Vgl. O. Nordenskjöld in Schwed. Südpol.-Exped., Bd. I, S. 168 ff.

²⁾ Geogr. Zeitschr., Bd. 17, 1911, S. 45 ff.

Das wird von allen Teilen der Antarktis erwähnt, von den Hochflächen des Inlandeises sowohl wie von seinen Randgebieten, von den eisfreien Felsen und vom Eis im Meer. In der Umgebung des Gaußberges fehlten die Schneewehen nirgends, und was dort im großen wie im kleinen schneefrei blieb und der Ablation unterworfen, lag zwischen den Wehen und war von diesen umgrenzt. O. Nordenskjöld¹⁾ hebt für die Westantarktis diesen Einfluß der Winde ganz besonders hervor, desgleichen Ferrar²⁾ für das Viktorialand und Gourdon³⁾ für das Grahamland. Die Winde spielen überall eine wichtige Rolle⁴⁾, indem sie das Nährmaterial verteilen oder fortführen, auch die Verdunstung steigern und die Ablation vergrößern.

Sie wirken aber regional oder örtlich und nicht so, daß die frei gehaltenen oder abgetragenen Flächen die schneebedeckten an Größe übertreffen. Das sah man auf dem Meereis nördlich vom Gaußberg, wo die Niederschläge so reichlich waren, daß die Schneewehen im Winter gewaltig wuchsen. Die eisfreien Striche wurden immer enger und waren im Frühjahr erheblich kleiner als die schneebedeckten, und der nachfolgende Sommer hob diesen Überschuß der Ernährung nicht auf. Ähnlich war es in den beiden Ablationsgebieten auf dem Inlandeise am Gaußberg, bei denen sich die örtliche Wirkung der Winde noch darin zeigte, daß die Stärke des Schwundes innerhalb kleiner Striche verschieden war. Auch wurden sie nicht durchweg abgetragen, sondern wesentlich auf ihren Kuppen und Hügeln, während die Mulden und Becken dazwischen Schnee behielten; daraus ging eine gewundene Schichtung hervor, die ich beschrieben habe. In der

1) Schwed. Südp.-Exped. I, 1, S. 170 ff.

2) Nat. ant. Exped. I, S. 84 f.

3) Exp. ant. Franc., Géogr. phys., S. 98 ff.

4) Vgl. hierzu auch A. Hamberg, Die Eigenschaften der Schneedecke in den lappländischen Gebirgen. Naturwiss. Unters. des Sarekgebirges in Schwedisch Lappland, Bd. I, Abt. III, Lief. 1, Stockholm 1907. Auch F. Enquist, Der Einfluß des Windes auf die Verteilung der Gletscher. Bull. geol. Inst. of Upsala, XIV, 1916.

Westantarktis und im Viktorialande gibt es aber Flächen und Hänge, auf denen der Wind gar keinen Schnee liegen läßt. Doch wenn die Expeditionen von schneebedeckten Flächen die vielen Winderosionen im Schnee und die zahlreichen Sastrugi dazwischen erwähnen, so beweisen diese allerdings einen starken abtragenden Einfluß der Winde, doch andererseits gerade das Vorhandensein von Nährmaterial und dessen Überschuf über den Schwund, weil die Sastrugi vor allem in jungen Schneedecken gebildet werden.

Im einzelnen ist es schwer, die Niederschlagsmengen und Ablationsgrößen, sei es, daß letztere durch Schmelzung und Verdunstung oder durch die mechanische Wirkung der Winde entstehen, miteinander abzugleichen, weil es an genaueren Messungen fehlt. Die Expeditionen haben sich wohl bemüht, solche zu gewinnen, doch der Winde wegen ohne Erfolg. Sie bringen deshalb Angaben über Niederschläge und Ablation nur mit Vorbehalt oder gar nicht, doch kann man immerhin einiges daraus schließen.

So fanden die beiden Charcot-Expeditionen 376,5 mm Niederschlag im Jahre 1904/5 auf der Wandelinsel ($65^{\circ} 4' \text{ s. Br.}, 68^{\circ} 42' \text{ w. L. Gr.}$)¹⁾ und 264,8 mm in 317 Tagen 1909 auf der Petermann-Insel, wenige Meilen südlich von jener²⁾. Beide Stationen liegen vor der Westküste des Graham-Landes. Für das Meer westlich davon an der Belgica Drift schätzt Artowski³⁾ auf Grund von Messungen 2 m kompakten Schnee im Jahr, was 6—700 mm Niederschlag in Wasserhöhe bedeuten dürfte. Die Scotia-Expedition nimmt für die Süd Orkney-Inseln 1903/4 etwa 400 mm Niederschlag pro Jahr⁴⁾ an und Barkow⁵⁾ für das Weddellmeer zwischen $62^{\circ} 20'$ und $77^{\circ} 40'$

¹⁾ J. J. Rey in Exp. ant. Franc. Hydrogr., Phys. du globe, Paris 1911, S. 535.

²⁾ J. Rouch in Deuxième Exp. ant. Franc. Observat. Meteor. Paris 1911, S. 184.

³⁾ Peter. Mitt., Erg.-Heft 144, 1903, S. 85.

⁴⁾ Scottish nat. Exp., vol. II, Edinburgh 1907, S. 274.

⁵⁾ Veröffentl. des meteorol. Inst. Berlin, Nr. 265, S. 7.

s. Br., sowie $28^{\circ} 27'$ und $44^{\circ} 23'$ w. L. Gr. nur 97,5 mm im Jahre 1911/12. Shackleton¹⁾ schätzt für das Roß-Eis 1908/9 188 mm im Jahr und für Kap Royds vor dessen Nordrand 230 mm.

Ich selbst fand 1 m dicke Neueisbildung durch Schnee auf dem ebenen Eisfeld (Wakenfeld) östlich von der Gauß-Station, was etwa 800 mm Wasserhöhe an Überschuß des Niederschlags über die Ablation im Jahre 1902/3 bedeutet, und auf den Schneewehen erheblich mehr. Dabei betrug in 5 Wintermonaten, Mitte Mai bis Mitte Oktober 1902, die Ablation auf dem Inlandeise am Gaußberg 2—6 cm festen Eises, was dort etwa 18—54 mm Wasserhöhe entspricht. O. Nordenskjöld²⁾ veranschlagt für Snow Hill einen Überschuß des Niederschlags über die Ablation im Betrage von 230 mm Wasserhöhe im Jahr; auch Priestly und David schätzen für Kap Royds am Roß-Eis ersteren höher als diese³⁾.

Aus diesen Werten darf man schließen, daß die Niederschläge den Schwund in der Regel übertreffen. Denn die von mir gemessenen Ablationen waren wegen der örtlichen Windverhältnisse schon besonders hoch und trotzdem erheblich geringer, nicht nur als meine großen Niederschlagswerte im Gaußberg-Gebiete, sondern auch als die der anderen Expeditionen, selbst wenn man sie zur Ermittlung der Jahreswerte etwa mit 3 multipliziert⁴⁾. Auch für das Meereis an der Belgica Drift darf man aus Arctowkis⁵⁾ Beobachtungen entnehmen, daß der Zuwachs durch Schnee den Verlust durch Verdunstung erheblich übertrifft. Nur Barkows Niederschlagsmenge erscheint geringer als der Verlust durch Ablation, was für das Weddellmeer auch zutreffen kann. Sonst darf man für das antarktische Inlandeis meistens soviel Nährmaterial an-

¹⁾ The geogr. Journal 34, 1909, S 494, 499. Priestly und David in XI. Congrès géologique international, 1910, Stockholm 1912, S. 796 f., 798 f.

²⁾ Schwed. Südpol.-Exped. I, 1, S. 142.

³⁾ XI. Congrès géologique international 1910, Stockholm 1912, S. 798 f.

⁴⁾ Vgl. auch W. Meinardus in Deutsche Südpol.-Exped., Bd. III, S. 154 ff., 237 ff.

⁵⁾ Peter. Mitt., Erg.-Heft 144, 1903, S. 85 und 93.

nehmen, daß es das überwiegt, was durch die Winde verweht werden kann oder durch Schmelzung und Verdunstung vergeht.

Es ist nun mehrfach erörtert worden, wie die Niederschläge bei dem heutigen Klima der Antarktis entstehen und ob sie in alle Teile des Kontinents gelangen können¹⁾. Wäre die Antarktis niedrig, würde sie ein Antizyklone mit nach außen abströmenden Winden bilden; dann wäre es schwer zu verstehen, wie die Niederschläge in das Innere kommen. Andererseits könnte bei größerer Höhe des Kontinents die von E. Brückner²⁾ nach dem Vorgange A. Heims³⁾ theoretisch geforderte Möglichkeit eintreten, daß das Land über eine obere Schneegrenze aufragt und daß gerade auf den Höhen kein Schnee mehr fällt. Man könnte denken, daß der erstere Fall den relativen Ernährungs-mangel der Westantarktis und der zweite den des Viktorialandes erklärt, und hätte dann begründet, wie diese beiden sonst so verschiedenen Gebiete zu ähnlichen Nährmängeln kommen.

Tatsächlich spielen in der Westantarktis die Winde bei der Verteilung und auch der Verhinderung der Ernährung eine besondere Rolle, wie schon erwähnt ist, wobei es zunächst gleichgültig ist, daß sie nicht durch eine kontinentale Antizyklone, sondern durch ein Minimum im Weddellmeer entstehen⁴⁾. Und was man von den Schneemengen des Viktorialandes weiß, könnte als Bestätigung der Heim-Brücknerschen Annahme gedeutet werden; denn die toten Gletscher Ferrars⁵⁾, sowie die Scotts⁶⁾ und Shackletons⁷⁾ Beobachtungen lassen die

¹⁾ W. H. Hobbs in Zeitschr. f. Gletscherk., Bd. V, 1910, S. 107 ff. E. Philippi in Zeitschr. f. Gletscherk., Bd. II, 1907, S. 15 f. E. Gourdon in Exp. ant. Franc. 1903/5, Geographie physique, Glaciologie, S. 119 f. R. F. Scott, The Voyage of the Discovery, Bd. II, S. 425.

²⁾ E. Brückner in Zeitschr. f. Gletscherk., Bd. VII, 1913, S. 276 ff.

³⁾ Handbuch der Gletscherkunde, Stuttgart 1885, S. 493 ff.

⁴⁾ W. Meinardus in Deutsch. Geographentag, Danzig 1905, S. 43. L. Mecking in geogr. Zeitschr., Bd. XIV, 1909, S. 490.

⁵⁾ Nat. ant. Exp., Bd. I, S. 73.

⁶⁾ The Voyage of the Discovery, Bd. II, S. 425, 432.

⁷⁾ The geogr. Journ. 34, 1909, S. 494, 499. Priestly and David in XI. Congrès géologique international 1910, Stockholm 1912, S. 799.

Ernährung auf den Hochflächen geringer erscheinen als in den niederen Höhen am Meer. Es wäre also möglich, daß in den beiden größten Ablationsgebieten der Antarktis verschiedene Ursachen die gleichen Wirkungen haben; nur besteht in beiden nicht völliger Mangel, sondern nur eine Verminderung der Ernährung und damit des Eisbestandes.

Wie es mit diesen Niederschlagsverhältnissen aber auch sei, die Tatsachen liegen so, daß in der Antarktis, soweit man sie kennt, Schneedecken und Schneewehen, also positive Ernährungsbedingungen vorliegen, nur nicht überall gleiche. Sie sind zum Teil im Sommer günstiger als im Winter, weil der Schnee in der wärmeren Jahreszeit besser haftet und weniger verweht wird, als in der kalten¹⁾. Am Gaußberg waren sie im Winter reichlicher. Zu der Ernährung durch Schnee kommt die durch Raureif hinzu, von der alle Expeditionen berichten, doch hatte letztere an der Gauß-Station nicht entfernt die Größe der ersteren, und in den anderen Gebieten scheint es nicht umgekehrt gewesen zu sein. W. Meinardus²⁾ erklärt die Ernährung der Randzonen durch zyklonale Winde, die vom nahen Meere kommen und dessen Feuchtigkeit bringen, und die des Inneren durch hohe Luftströmungen, in die das Land hineinragt; das Innere würde dann die Feuchtigkeit abfangen, welche in der allgemeinen hemisphärischen Zirkulation aus den Tropen herkommt.

Die Bewegung des Eises, durch welche die Ernährungsüberschüsse abgeführt werden, ist verschieden, doch überall klein. Ich fand am Gaußberg höchstens 11,7 m im Monat, also 0,4 m pro Tag, und das bei einem Punkt am äußeren Rande des Inlandeises nahe dem Meer, wo dieses bereits ganz oder nahezu schwimmt. Eine schnellere Bewegung geben Ferrar³⁾ und Shackleton⁴⁾ für Punkte des schwimmenden Roß-

¹⁾ O. Nordenskjöld in Schwed. Südpol.-Exp., Bd. I, Lief. 1, S. 136 ff.
E. Gourdon in Exp. ant. Franc. 1903/5, Geogr. phys. Glaciologie, S. 91.

²⁾ Deutsche Südp.-Exp., Bd. III, 1, S. 323 ff.

³⁾ Nat. ant. Exp., vol. I, S. 82.

⁴⁾ The geogr. Journ., 34, 1909, S. 499.

Eises, nämlich 556 m in 13¹/₂ Monaten und 457 m in 1 Jahr, also fast 1,5 m bzw. 1,2 m pro Tag. Wo die Eintauchtiefe des Eises abnimmt, also landeinwärts, hat es nach meinen Messungen geringere Geschwindigkeiten gegeben, die mit denen der Alpengletscher¹⁾ von ähnlicher Dicke vergleichbar sind, und wo es dem Lande aufliegt, ganz geringe (Punkt 1 und 4—8, Tafel 15, in Deutsche Südp.-Exp., Bd. I). Diese stellen auch Ferrar²⁾, Gourdon³⁾, Nordenskjöld⁴⁾ für andere Gebiete durch indirekte Beobachtungen fest, ohne Messungen mitzuteilen. Sie sprechen auch von ganz oder nahezu bewegungslosen Bezirken, z. B. dem Eise der Snow Hill Insel. Das kontinentale Inlandeis dürfte aber meistens Bewegung haben, wenigstens in seinen Randzonen, da es Eisberge bildet und das vor ihm liegende Schelfeis preßt, wie es von allen Teilen der Antarktis berichtet wird.

Die Geschwindigkeit des Eises am Gaußberg hängt von der Dicke ab, und außerdem von der Eintauchtiefe im Meer. Je dicker das Eis ist, desto plastischer sind seine unteren Lagen, und je tiefer es eintaucht, desto mehr wird es vom Meere durchwärmt, desto leichter und umfangreicher kann es plastisch werden. Auch wird das Eis mit wachsender Eintauchtiefe immer mehr vom Wasser getragen, bietet also den von rückwärts schiebenden Kräften immer geringeren Widerstand. Das zeigt sich in der Beschleunigung seiner Bewegung. Da nun Eisdicken und Eintauchtiefen zugleich mit der Entfernung vom Berge nach Westen hin wachsen, wirken beide Momente zusammen, um die Bewegung zu steigern, wie es meine Messungen zeigen. Und den beschleunigenden Einfluß der Wärme, den das Meer bringt, ersieht man daraus, daß die Bewegungen auffallend klein sind, wo das Eis auf Land liegt,

¹⁾ H. Hefé, Die Gletscher, Braunschweig 1904, S. 118 ff., besonders S. 143 f.

²⁾ Nat. ant. Exp., vol. I, S. 82.

³⁾ Exp. ant. Franc., S. 96 ff.

⁴⁾ Schwed. Südp.-Exp. I, 1, S. 143 f., auch J. Gunnar Andersson in Bull. Geol. Inst. of Upsala, vol. VII, S. 54.

doch sprunghaft wachsen beim Eintritt ins Meer. Es scheint dann weniger auf die Dicke und auf die Eintauchtiefe anzukommen, als auf diese Berührung mit dem Wasser; das kann man wohl nur durch dessen erwärmenden Einfluß erklären.

Auf dem Lande ist das Eis in dem harten Klima tief durchkältet. Man sieht das an den langsamen und geringen Umwandlungen seiner inneren Struktur. Alle Expeditionen, besonders Ferrar¹⁾, schildern, wie der Schnee gar nicht oder nur äußerst langsam zu Eis wird. Noch manche Eisberge, also Endprodukte der Eisbewegung, bestehen nicht aus Eis, sondern nur aus verkittetem Schnee²⁾. Überall sind die Korngrößen gering. Eisbrüche erhalten sich als Breccien, selbst innerhalb strömender Eismassen, ohne ihre Struktur zu verlieren. Die Umwandlung der Schichtung in Bänderung ist im Vergleich zu diesem Vorgang bei den Alpengletschern in der Antarktis sehr gering. Die äußeren Schmelzprozesse sind von kurzer Dauer, die entstehenden Wassermengen spärlich und von geringer Wirkung; sie dringen von der Oberfläche her wenig ein und noch weniger durch die Spalten zum Boden herab, da sie beim Niedersinken zu Zapfen erstarren. Kurz, alle diese Einzelheiten zeigen, daß das antarktische Inlandeis der sommerlichen Erwärmung ermangelt, die im Haushalt aller anderen Gletschergebiete, auch der grönländischen, wesentlich ist.

Auf diese Weise ist die Langsamkeit der Bewegung verständlich und auch ihre Beschleunigung beim Eintritt ins Meer, durch das die unteren Lagen Wärme und Plastizität erhalten. Und wenn man von allen Seiten der Antarktis Eisbergbildungen und Schelfeispressungen, also die Folgen von Randbewegungen, kennt, so ist es wohl schon der Einfluß des Meeres, der diese vermittelt. Die vom Meere nicht durchdrungenen Massen können teilweise passiv nachrücken, wie mein Punkt 15 (Eisbruch) westlich vom Gaußberg. Sonst wird man

¹⁾ Nat. ant. Exp., S. 85.

²⁾ Priestly und David in XI. Congrès géologique international 1910, Stockholm 1912, vol. II, S. 797.

für das Eis auf dem Lande tiefe Durchkältung und damit geringe oder gar keine Bewegung annehmen müssen, es sei denn, daß die Erdwärme zur Erregung der Plastizität in Betracht kommen kann.

Im übrigen wird sich die Bewegung von den dickeren zu den dünneren Teilen hin entwickeln, also von den Gebieten der Aufschüttung zu denen des Schwunds. Da aber die ersteren nicht geschlossen sind, sondern regional mit den letzteren wechseln, hat das antarktische Inlandeis nicht nur ein Entwicklungszentrum, von dem die Bewegung in einen Gletscher ausläuft oder radial nach allen Seiten, sondern viele, überall, wo der Schnee sich häuft, im Innern wie in den Randzonen. Von allen werden Bewegungen ausgehen, wenn die Temperatur darnach ist; sie können mit oder gegen einander gerichtet sein, sich verstärken oder behindern. So werden lebhafter strömende Striche mit toten Wechsellinien und auch Stauungen entstehen, die zu sekundären Zentren werden.

So gleicht das Inlandeis nicht einem Strom wie der Gletscher, sondern eher dem Meer, in dem sich durch äußere Kräfte Strömungen bilden, im Meer durch die Winde und im Inlandeis durch die Verteilung des Schnees. Außerdem bestimmen die Formen des Untergrundes die Richtung und die Stärke des Strömens, die eisfreien sowohl, wie in der Westantarktis und im Viktorialand, doch auch die eisbedeckten westlich vom Gaußberg. Eine Unabhängigkeit von den Landformen besteht hier trotz der Dicke des Eises von mindestens 200 m nicht, wie überhaupt nirgends, wo solche Verhältnisse bisher erörtert und beobachtet sind¹⁾.

Bei der geschilderten Art der Ernährung sind die Unterschiede zwischen Nähr- und End-Gebiet, wie sie ein Gletschersystem hat, in der Antarktis naturgemäß verwischt. Gerade die End- und Rand-Gebiete erhalten ja durch die zyklonalen

¹⁾ O. Nordenskjöld in Schwed. Südp.-Exp., Bd. I, Lief. 1, S. 116. A. de Quervain und A. Stolberg, Durch Grönlands Eiswüste, Straßburg 1911, S. 132. A. de Quervain, Quer durchs Grönlandeis, München 1914, S. 85 ff.

Winde, die vom Meer kommen, viele Ernährung, während die hohen Berge der inneren Teile freier bleiben. Man sieht deshalb die neu gekalbten Eisberge noch frisch und kurz vor ihrem Abbruch geschichtet und die Felsen der Küste von Schneeflächen umhüllt, wie es in Nährgebieten zu sein pflegt, dagegen die hohen Berge des Viktorialandes von Kehlen¹⁾ umzogen, wie in Endgebieten von Vereisungen. Am Gaußberg hat man beides zugleich, Anschmiegung des Schnees an der Ostseite, also Ernährung, und Kehlen, also die Zeichen des Schwundes, im Westen²⁾. Die Bewegung kommt dort aus der Ferne, von Süden, um am Gaußberg zu enden, und wird kurz vor dem Ende durch Ernährung verstärkt. Im Viktorialand kommt sie aus dem nahen Gebirge und wird in diesem selbst durch Ablation geschwächt. So sind die Nähr- und Endgebiete nicht räumlich getrennt.

In den glazialen Erscheinungen der Antarktis darf man das Bild einer Eiszeit erblicken. Ein hohes Land, auf dem sich der Schnee im Winde hält, also ein Gebirge mit Scharten und Tälern oder ein Plateau mit Hügeln und Mulden erscheint als ihr Ausgang. Von ihm verbreitet sich das Eis, wie die festen Formen es leiten. So kann es in die Tiefländer kommen, die das Hochland umgeben, und sich dort wieder sammeln, dann das Hochland umströmen und Nährwinde abfangen, die demselben vorher zukamen. Damit kann es auch von unten her weiter wachsen, zu den Höhen zurückschwellen oder anderen Erdräumen zuströmen, sei es Land oder Meer. Im Meer muß es enden, wenn es zu schwimmen und sich aufzulösen beginnt, sei es zunächst zu Schelfeis und dann zu Treibeis, oder zu diesem sogleich.

In solcher Erscheinung steht das antarktische Inlandeis heute. Es ist jetzt nicht von einem Zentrum ernährt, sondern von vielen, die ein erstes, das vielleicht im Inneren lag, abgelöst haben, und selbst wieder abgelöst werden, wenn neue ent-

¹⁾ W. H. Hobbs in Zeitschr. f. Gletscherk., V, 1910, S. 104.

²⁾ Ähnliches schildert Arctowski aus der Westantarktis in Pet. Mitt., Erg.-Heft 144, 1903, S. 19 f.

stehen. Das hohe Zentrum und die tieferen Gebiete, die es umziehen, gaben die günstigsten Grundlagen für die Entstehung der Eiszeit; ein von Gebirgen umrandetes Tiefland hätte sie nicht geboten, selbst im Polarklima nicht, wie man auch an Sibirien und an Kanada sieht. Würde der Antarktis das Hochland fehlen und auch im Innern Ebene oder Tiefland sein, wären vereiste Ränder und ein freies Zentralgebiet denkbar. Zu der vollen Vereisung gehörten Klima und Orographie.

Die weitere Frage ist nun, ob die klimatischen oder die orographischen Bedingungen bestimmender sind, also die Frage nach den primären Ursachen der Eiszeit. Man kommt ihr näher, wenn man deren Schwankungen betrachtet, und die Antarktis hatte solche von zweierlei Art, einen großen allgemeinen Rückgang, der die dortige Eiszeit abschloß, und kleinere junge Oscillationen.

Über jene sind die Expeditionen einig. Arctowski¹⁾ war der erste, der auf einen allgemeinen Rückgang des antarktischen Inlandeises seit der Eiszeit und sein beträchtliches Ausmaß hinwies. Alle späteren Expeditionen haben seine Ansicht bestätigt²⁾. Wir fanden am Gaußberg, daß der 371 m hohe Gipfel in der Vorzeit vom Eise überströmt war, während der Eisrand heute an der Südseite des Berges bei 130 m Höhe und im Norden im Meeresniveau liegt. Er hat sich also um 240 m gesenkt und mindestens um diesen Betrag, doch wohl erheblich mehr muß die Eisdicke abgenommen haben. Größere Rückgänge werden in der Westantarktis¹⁾ und von Shackleton²⁾ im Viktorialand gefolgert. Ich habe aus der Verteilung der Moränen auf dem Gaußberg geschlossen, daß der Rückzug ohne Pausen erfolgte, da er sonst Moränen zurückgelassen haben müßte und

¹⁾ Exp. ant. Belge, Geologie, Anvers 1908, S. 59 ff.; C. R. de l'ac. des sciences, Paris, 27. Aug. 1900; Pet. Mitt., Erg.-Heft 144, 1903, S. 10.

²⁾ J. Gunnar Andersson in Bull. Geol. Inst. of Upsala, vol. VII, S. 54 f. Ferrar in Nat. ant. Exp., vol. I, S. 94, 99. Gourdon in Exp. ant. Franc. Geogr. phys., S. 116 f. Shackleton in The geogr. Journ. 34, 1909, S. 483. Priestly und David in XI. Congrès géologique international 1910, Stockholm 1912, S. 788 ff.

nicht die lockeren Streuungen von erratischen Blöcken, wie man sie sieht¹⁾).

Eine Folge des allgemeinen Rückgangs sind auch die Schelfeismassen, die ich besprochen und als Inlandeisrelikte gedeutet habe. Dabei ist es gleichgültig, ob sie wirklich noch alte, eiszeitliche Inlandeisstücke sind, die sich dort bis heute erhielten, oder ob solche mit der Zeit verschwanden und durch nachdrängende Inlandeismassen ersetzt wurden, was wahrscheinlicher ist. Im ersten Fall wären die Relikte dadurch entstanden, daß das Inlandeis an Ort und Stelle durch den Schwund beim Rückgang so viel an Dicke verlor, daß es nicht mehr am Boden aufliegen konnte und zum schwimmen kam, im zweiten durch nachdrängendes Inlandeis, das in Eisberge zerbrach, die durch Bänke und Untiefen am Abzug gehindert wurden. In beiden Fällen darf man von Relikten sprechen, im ersten direkt und im zweiten, weil sie die in der Eiszeit vorhandenen Inlandeismassen ersetzen. Da diese mindestens 240 m dicker war wie jetzt, konnten sie an vielen Stellen des Schelfmeers auf dem Boden liegen, wo es jetzt nicht mehr geht. Ähnlich ist es beim Roß-Eis.

Über die Inlandeis-Oscillationen der Gegenwart sind die Ansichten geteilt. Ich schließe aus den Moränen an der Westseite des Gaußbergs auf einen geringen jungen Rückzug mit Pausen²⁾. Für die Westantarktis liegen keine bestimmten Nachrichten vor³⁾, dagegen für das Viktorialand die Annahme steten Rückgangs⁴⁾. So wird man für zwei weit voneinander entfernte Gebiete mit einem solchen rechnen dürfen, und sollte er in der Westantarktis nicht vorhanden sein, würde die heutige Oscillation nur ähnlich erscheinen, wie die Schwankungen anderer Gletschergebiete, die auch nicht überall gleich

1) Deutsche Südp.-Exp., Bd. II, S. 35 f.

2) Deutsche Südp.-Exp., Bd. II, S. 35.

3) O. Nordenskjöld in Schwed. Südp.-Exp., I, 1, S. 153, 170.

4) Ferrar in Nat. Ant. Exp., I, S. 94. Shackleton in The geogr. Journ. 34, 1909, S. 494.

sind¹⁾. Bei der großen Ausdehnung der antarktischen Vereisung und der Vielseitigkeit ihrer Ernährung wäre das leicht zu verstehen.

Der große allgemeine Rückgang dürfte der gleiche sein wie in anderen Erdräumen seit der Eiszeit, wenn es auch nicht möglich ist, darüber Sicherheit zu gewinnen. Wenn man aber die Verwitterungserscheinungen auf dem Gaußberg, die nach dem Rückgang des Eises entstanden sind, mit denen in anderen alten Gletschergebieten, besonders in Grönland und in Skandinavien, vergleicht, so scheinen sie nach Größe und Art nicht wesentlich verschieden zu sein, also auch die Zeiten nicht, in denen sie entstanden. Somit würde die Gleichzeitigkeit der Vereisungen und ihrer Rückgänge über die ganze Erde hin folgen, weil sie in den beiden weit entfernten Polargebieten gleichzeitig waren, und damit auch die Gleichheit und allgemeine Geltung ihrer Ursachen. Schon die antarktische Eiszeit ist eine so einheitliche und ausgedehnte Erscheinung gewesen, daß sie weit wirkende Ursachen zur Voraussetzung hat.

Diese braucht man sich aber nicht als Katastrophe zu denken. Denn W. Meinardus²⁾ hat berechnet, daß die Eisausfuhr durch Bewegung und Eisbergbildung im ganzen Umfang der Antarktis bei einer jährlichen allgemeinen Niederschlagshöhe von 40 mm Wasser auf dem Kontinent gedeckt werden kann. Dabei ist die Eisbewegung nach meinen Messungen zu 150 m pro Jahr angenommen, also als Mittel für den ganzen Umkreis des Inlandeises erheblich zu groß, so daß der errechnete Betrag von 40 mm entsprechend zu groß ist. Die Fläche, auf welcher die Niederschläge fallen, ist so gewaltig, daß eine erhebliche Ausfuhr zustande kommt, auch wenn die mittleren Niederschlagsmengen nur gering sind. Und noch kleiner, in der nächsten Größenordnung kleiner, können die Niederschlags-Schwankungen sein, die den Eisrand vor-

¹⁾ H. Heß, Die Gletscher, S. 285 f. A. Woeikof in XI. Congrès géologique international, 1910, Stockholm 1912, I, S. 391 ff.

²⁾ Sitzungsbericht d. Med.-naturw. Gesellschaft Münster 29. Juli 1910.

rücken oder zurückgehen lassen. Es wäre denkbar, daß diese sich schon durch die wechselnde Verteilung des Schnees durch die Winde erklären.

Dazu kommt, daß die Niederschläge nicht gleichmäßig über den ganzen Kontinent verteilt sind, sondern regional. Deshalb können die fallenden Schneemengen etwa in den inneren Teilen der Antarktis geringer sein oder auch fehlen, ohne daß die Eisbergbildung abnehmen muß, wenn nur zu gleicher Zeit die Randzonen entsprechend höher ernährt sind, wie es bei ihren zyklonalen Winden möglich erscheint. Der Rand würde dann konstant sein bzw. auf Grund seiner eigenen Ernährungsverhältnisse örtlich vor oder zurück gehen, während das Innere abnimmt. Vielleicht sind die toten Gletscher Ferrars¹⁾ am Ost- rand der Royal Society Kette und das schneearme Hochgebiet Shackletons²⁾ ein Zeichen dafür, daß dem so ist, wenn auch eine wirkliche Abnahme der innerantarktischen Vereisung schwer zu beweisen sein wird. Jedenfalls haben die geringen randlichen Schwankungen, wie sie z. B. am Gaußberg auftreten, keinen allgemeinen Vorgang, also keine Klimaänderung, zur notwendigen Voraussetzung.

Der große allgemeine Rückgang seit der Eiszeit bedarf aber der allgemeinen Begründung, wie überall, und diese betrifft die Ursachen der Eiszeit.

Wie die Mehrzahl der Forscher nehme ich an, daß die Eiszeit gleichzeitig die ganze Erde betraf. Der Hauptgrund liegt in der Verbreitung ihrer Spuren durch alle Zonen und in der Gleichartigkeit dieser Spuren nach Art und Gestalt, sowie nach ihren Umwandlungen seit der Eiszeit. Freilich ist die frühere Ausbreitung des Eises in den verschiedenen geographischen Breiten und Längen verschieden gewesen, hat regional auch gefehlt, doch zweifellos war sie sehr groß und fand unter den verschiedensten terrestrischen Bedingungen statt. Deshalb muß sie auch allgemeine Ursachen gehabt haben und

¹⁾ Nat. ant. Exp., vol. I, S. 73 und Karte.

²⁾ The geogr. Journ. 34, 1909, S. 494. Priestly und David, XI. Congrès géologique international 1910, Stockholm 1912, S. 791, 799.

kann durch terrestrische Vorgänge nur im einzelnen beeinflusst und ausgestaltet gewesen sein¹⁾.

Freilich lernt man den Einfluß der terrestrischen Bedingungen, vor allem der Erdformen auf die Entwicklung der Gletscher um so höher bewerten, je mehr man ihnen nachgeht. Die orographische Schneegrenze Ratzels tritt dann gegen die klimatische immer bedeutsamer hervor, schon weil jene unmittelbar durch Beobachtung festgestellt wird, während diese meist nur gedacht ist und auf mehr oder weniger komplizierten Ableitungen beruht²⁾. Sie spielt in der Entwicklung der Gletscher im einzelnen eine kleinere Rolle als die orographische.

Auch die Antarktis zeigt das. Denn die klimatische Schneegrenze liegt dort im Meeresniveau oder tiefer, weil der Schnee sich des Klimas wegen überall so tief zu halten vermag, doch aus anderen Gründen bleibt er in manchen Gebieten schon weit darüber nicht mehr liegen³⁾, gerade auf den Höhen nicht. Im kleinen sieht man das an den Eisbergen, deren Oberflächen frei zu bleiben pflegen, während ihre Wände von Schnee umhüllt werden; sie wachsen nach der Seite, nicht nach der Höhe. Die orographische Schneegrenze ist in solchen Fällen über die klimatische hinauf gerückt, nicht unter sie hinab wie in den Scharten und Tälern der Alpen; die Landformen und ihr Verhältnis zu den Winden haben das veranlaßt und damit auch das Auftreten des Eises im einzelnen⁴⁾. Dieser Einfluß der Winde wurde schon vorher betont.

Doch für die Entwicklung im großen können nur allgemeine Ursachen maßgebend sein, vor allem tiefe Temperaturen, bei denen die Niederschläge als Schnee und nicht als Regen

1) E. Brückner in XI. Congrès géologique international 1910, Stockholm 1912, vol. I, S. 380 f.

2) H. Heß, „Die Gletscher“, Braunschweig 1904, S. 50 f., 68 ff.

3) H. Arctowski in Exp. ant. Belge, Géologie, Les Glaciers, Anvers 1908, S. 39. Gourdon in Exp. ant. Française, Géographie physique-Glaciologie, S. 74.

4) Vgl. hierzu die interessanten Schilderungen A. Wegeners in Meddelelser om Grönland 46, 1, S. 57; sowie F. Enquist in Bull. geolog. Institut of Upsala, vol. XIV, 1916.

fallen, sowie die Häufung von Schnee, also reichliche Niederschläge, damit er sich hält und zu Gletschern und Inlandeis wird. Diese beiden Grundbedingungen sind klimatisch. Sie können durch die Höhenlage oder durch die Erdformen ersetzt oder begünstigt sein, und so zu orographischen werden, doch nicht allgemein, d. h. nicht auf großen und ganz verschieden gestalteten Gebieten der ganzen Erde zugleich. Schon jeder Kontinent hat sowohl Höhen wie Tiefen und damit orographisch nur teilweise die Möglichkeit der Vereisung, wenn er nicht in einem alles vereisenden Klima, also innerhalb der Polarzone liegt. Das Eis kann noch von seinen Höhen zu den Tiefen strömen und hier Gebiete überziehen, die ihm ursprünglich nicht bestimmt waren, soweit es das Klima zuläßt. Doch nur ein polarer Kontinent, wie die Antarktis, vereist von der Tiefe aus, wie von der Höhe, und nur deshalb so allgemein. Es hängt also vom Klima ab, wie groß und allgemein die Vereisungen werden. Die Orographie wirkt mit, doch das Klima ist das primäre.

Das gleiche gilt für die großen Veränderungen in der Ausdehnung des Eises, wie es die Eiszeit und ihr Rückgang gewesen sind; denn auch diese fanden nicht nur in allen geographischen Breiten, sondern auch auf allen Erdformen statt, auf Höhen und Tiefen, Plateaus und Niederungen, Kämmen und Tälern, Kuppen und Becken. Auch in der Antarktis sind die Landformen so verschieden wie möglich, auf denen sich das größere Eis entwickelte und mit der Eiszeit wieder zurückging. Allen war und ist nur das Klima gemein, wie es die circumpolare Lage des großen Landes bestimmt, und seine Beziehungen zu den Meeren, die es umgeben. So muß man die Gründe für das Ende der Eiszeit auch in der Antarktis in klimatischen Vorgängen suchen.

E. Brückner sieht in Schwankungen der Temperatur die Ursache der heutigen Oscillationen, wie auch des Entstehens und Vergehens der Eiszeit¹⁾, weil die Temperatur nur

¹⁾ A. a. O. (siehe Anm. 1, S. 30), S. 388, 402. Auch „Die Alpen im Eiszeitalter“, S. 1145 f.

wenig (in den Alpen 5°) tiefer zu werden braucht, um das Maximum der Eiszeit entstehen zu lassen, und umgekehrt. Eine solche allgemeine Abnahme der Temperatur wäre denkbar, während — seiner Ansicht nach — ganz unwahrscheinliche Steigerungen der Niederschlagsmengen notwendig wären, um ohne Senkung der Temperatur die Eiszeit zu erklären.

In der Antarktis liegen diese Verhältnisse anders. Da die Temperatur dort an sich so tief ist, daß die Niederschläge fast alle als Schnee fallen, können weitere Abkühlungen für eine Vermehrung des Eises nur wenig oder gar nichts bedeuten. O. Nordenskjöld¹⁾ berichtet sogar, daß das Eis auf der Snow Hill-Insel in der wärmeren Jahreszeit mehr wächst als im Winter, und Scott²⁾, Philippi³⁾, Gourdon⁴⁾, sowie Priestly und David⁵⁾ sprechen davon, daß die antarktische Eiszeit eine Hebung, nicht eine Senkung der Temperatur zur Voraussetzung hätte. Ob dieses richtig ist, sei zunächst dahingestellt. E. Philippis Annahme, der auch E. Brückner⁶⁾ folgt, daß die maximale Eisentwicklung nicht auf dem antarktischen Kontinent, sondern nördlich von ihm zu suchen sei, ist nicht genügend belegt und erscheint auch nicht richtig, da durch die Polfahrten von Shackleton, Scott und Amundsen die fast völlige Vereisung des Inneren gezeigt ist und von den Randgebieten schon vorher bekannt war, daß sie nicht minder vereist sind wie die Inseln nördlich davon. Für Nordenskjölds Ergebnis sprechen aber auch andere Beobachtungen, und meinem Satz (Zeile 8 ff. dieser Seite) dürfte nicht zu widersprechen sein.

Dadurch rückt die Bedeutung der Niederschläge für die Entwicklung der Eiszeit in den Vordergrund, zunächst für die Antarktis. Nach W. Meinardus⁷⁾ bedarf es bei der Größe des Landes nur 40 mm Niederschlag in Wasserhöhe an

1) Schwed. Südp.-Exp., Bd. I, Lief. 1, S. 139.

2) The Voyage of the Discovery, vol. II, S. 425.

3) Zeitschrift für Gletscherkunde, Bd. II, 1907, S. 18.

4) Expédition antarctique Française, Géogr. phys.-Glaciologie, S. 71.

5) XI. Congrès géolog. international 1910, Stockholm 1912, S. 799 f.

6) A. a. O. (siehe Anm. 1, S. 30), S. 384. 7) S. Anm. 2, S. 28.

Schnee pro Jahr, um den Verlust des Inlandeises durch Bewegung und Eisbergbildung zu decken. Wenn man nun annimmt, daß die frühere Vereisung etwa doppelt so dick war als die heutige, wie es am Gaußberg der Fall gewesen sein kann, würden 80 mm Niederschlag zur Eisbilanz genügt haben, wahrscheinlich weniger, weil der Betrag von 40 mm zu groß ist, und weil die Bewegung und das Abstoßen von Bergen jedenfalls langsamer wächst, als die Dicke des Eises; zur Ernährung der doppelten Dicke würde deshalb weniger als die doppelte Niederschlagsmenge genügen.

Dabei hätte man den Ersatz für die frühere Ablation der niedrigen Temperaturen wegen nicht größer zu denken als heute, zumal die Flächenausdehnung des Inlandeises damals nur wenig größer war; es konnte ja kaum über die Grenzen des jetzigen Schelfeises hinaus, weil jenseits derselben das tiefe Meer beginnt, in welchem die Auflösung der Vereisung in Berge erfolgt. Die frühere Ablation dürfte sogar geringer gewesen sein, als jetzt, da es damals mehr schneeige Niederschläge gab, die sie beschränkten. Also würde sich der Gesamtbedarf an Schnee für die Bilanz des Inlandeises zur Eiszeit auf ein plus von höchstens 40 mm Wasserhöhe im Jahr gegen heute belaufen.

Zu diesem Betrag würden die Niederschläge langsam und allmählich anwachsen können, um die Eiszeit entstehen zu lassen, etwa durch die Bildung neuer und stärkerer Windwehen hier und dort, wo sie Halt finden und dann ihrerseits Halt für neue Windwehen bieten. Man wird sich den Vorgang als eine Steigerung der jetzigen Umlagerungen durch die Winde vorstellen dürfen, von vielen Zentren her, also als ein allmähliches Wachsen des Eises aus sich selbst heraus. Einer Temperatur-Erniedrigung bedarf es dazu nicht, sondern nur der nicht viel gesteigerten Niederschläge an Schnee. Dieses Ergebnis ist anders, als das von E. Brückner zur Erklärung der Eiszeit der Alpen.

Ich glaube freilich auch nicht, daß diese letztere zutrifft. Ihr Gedankengang ist der folgende¹⁾:

¹⁾ Penck und Brückner, Die Alpen im Eiszeitalter, S. 1142 ff.

Die heutigen Firnfelder der Alpen waren in der Eiszeit nicht voller wie jetzt; also entstand dieselbe aus einem Anschwellen der Gletscherzungen, dieses, weil die Abschmelzung damals geringer war als jetzt, und das, weil die Temperatur niedriger war. Damit wird eine Erniedrigung der Temperatur als die Ursache der Eiszeit gefordert; eine Steigerung der Niederschläge ohne Temperatursenkung wird als Ursache abgelehnt, weil die Firnfelder über der heutigen Schneegrenze nicht voller gewesen wären, und weil unterhalb derselben die Vermehrung des schneeigen Niederschlags auf Kosten des flüssigen bis zu 11—14 m Wasserhöhe betragen haben müßte, um die Ablation auszugleichen. Dieses schein unmöglich hoch und auch mit dem Verhältnis der eiszeitlichen Schneegrenze zur heutigen nicht in Einklang zu stehen.

Hierzu ist zunächst zu bemerken, daß die Firnfelder doch voller gewesen sein können als jetzt, auch wenn man über den heutigen Grenzen des Firnstandes keine früheren höheren findet. Denn die Häufung des Schnees findet nicht an den steilen Wänden der Firnmulden statt, sondern an ihren flachen Böden; auch können die höheren Grenzen verschwunden sein, weil sie leicht zerstörbar sind. Ferner ist zur Steigerung des Firnstandes unter der heutigen Schneegrenze bei gleichen Temperaturen wie jetzt keineswegs eine Vermehrung der schneeigen Niederschläge bis auf 11—14 m zu fordern; denn dieses ist ein Maximalwert, dessen es — seine Richtigkeit vorausgesetzt — erst unten an der eiszeitlichen Schneegrenze im Tale bedurft hätte, um die Gletscher zur Eiszeit anschwellen zu lassen, also an der tiefsten Stelle, wo der Schnee sich halten mußte. Auf den Höhen nebenan und im Tale aufwärts würden kleinere Vermehrungen genügt haben, nämlich ein gegen die heutige Schneegrenze abnehmender Zuschlag zu den jetzigen Beträgen und ein geringer an dieser selbst.

Schon wenn dieser geringe Zuschlag erfolgte, würden sich die Schneegrenzen allmählich senken und die Gletscher schwellen müssen, und die Folge davon würden weitere Senkungen und Schwellungen sein. So würde sich die Eiszeit allseitig vortragen,

von vielen Stellen her, wie es die antarktische tat und noch heute durch die Windwehen tun kann. Es bedarf dann auch in den Alpen keiner primären Temperatursenkung, sondern nur der langsamen Steigerung des Niederschlags, wie es für die Antarktis zu fordern ist, wo die Abkühlung der an sich niedrigen Temperaturen eher das Gegenteil zur Folge haben würde, als die Entwicklung zur Eiszeit.

Die Vermehrung der Niederschläge muß aber auf der Erde allgemein gewesen sein, weil die Eiszeit es war, also ein großer klimatischer Vorgang. Orographische oder geotektonische Ereignisse von derselben Wirkung wird man sich schwerlich vorstellen können, schon allein für den antarktischen Kontinent nicht mit seinen verschiedenen Formen und Höhen. Leichter ist es zu denken, daß die Nährquellen des antarktischen Eises, also die Niederschläge der zyklonalen Winde am Rand und der hohen Luftströmungen im Inneren, langsam wuchsen und das Inlandeis schwellten, als die Folgen oder als Teile einer Klimaschwankung, welche die ganze Erde betraf.

Wie diese kam und im einzelnen aussah, sei hier nicht erörtert. Es ist anzunehmen, daß es sich um gleichzeitige Schwankungen der Temperatur, des Luftdrucks und der Niederschläge gehandelt hat, da diese voneinander abhängen; hierin kann man E. Brückner¹⁾ zustimmen. Nur daß die Schwankungen der Temperatur das primäre gewesen sein sollen, halte ich nicht für richtig; für die Antarktis wenigstens kam es nicht darauf an, sondern auf Vermehrung der Niederschläge²⁾, und für das gleiche und gleichzeitige Phänomen in anderen Erdräumen wird man dann nicht andere Ursachen

¹⁾ E. Brückner, a. a. O. (siehe Anm. 1, S. 30), S. 388.

²⁾ Priestly und David heben dieses auch hervor, kommen aber zu dem Schluß, daß die Eiszeit in den verschiedenen Erdräumen nicht gleichzeitig war, weil sie nicht zu gleicher Zeit verschiedene Ursachen gehabt haben wird. Ich kann diesem Schluß nicht zustimmen, sondern meine, daß die Eiszeit überall eine Vermehrung der Niederschläge zur Voraussetzung hatte und daß es auch für die Alpen keiner primären Abkühlung bedurfte.

hat. Durch O. Nordenskjöld¹⁾, Gourdon²⁾ und Ferrar³⁾ sind antarktische Eistypen aufgestellt worden, die in Einzelheiten voneinander abweichen, doch alle auf den Landformen beruhen, die das Eis überlagert. Erschöpfende Klassifikationen sind es nicht, da im Grunde jede Landform eine eigene Eisform bedingt, wenn das Eis so dünn ist, daß sie sich darin markiert. Je mächtiger es ist, desto mehr werden verschiedene Landformen in einem Eistyp zusammengefaßt. Die Unterscheidungen werden also mit der zu und abnehmenden Dicke des Eises gemindert oder vermehrt.

Bei dieser Sachlage komme ich auf jene grundlegende Gliederung der Gletscherformen zurück, die von A. Heim⁴⁾ aufgestellt wurde und der im wesentlichen auch E. Werth⁵⁾ gefolgt ist. Sie gründet sich auf die allgemeinen Beziehungen der Nähr- und der Abfluß-Gebiete des Eises zu den Landformen, nicht auf deren Einzelzüge, und wurde von mir schon früher⁶⁾ in folgender Weise gegeben:

1. Eisbildungen mit aufgelöstem Nähr- und aufgelöstem Abfluß-Gebiet, A. Heims alpiner Typus, Firmmulden und Gletscherzungen.
2. Eisbildungen mit gemeinsamem Nähr- und aufgelöstem Abfluß-Gebiet, A. Heims norwegischer Typus, Hochlandeis und Gletscherzungen.
3. Eisbildungen mit aufgelöstem Nähr- und gemeinsamem Abfluß-Gebiet, Firmmulden und Vorlandeis.
4. Eisbildungen mit gemeinsamem Nähr- und Abfluß-Gebiet, A. Heims grönländischer Typus, Inlandeis.

Der vierte Typus beherrscht die Antarktis. Denn wenn dort auch teils durch übereiste Landformen, wie westlich

¹⁾ Schwed. Südp.-Exp., I, 1, S. 178 ff.

²⁾ Exp ant. Franc. Geogr. phys.-Glaciologie, Paris 1908, S. 100 ff.

³⁾ Nat. ant. Exp., vol. I, S. 63 ff.

⁴⁾ Handbuch der Gletscherkunde, Stuttgart 1885, S. 55 ff.

⁵⁾ E. Werth in Bd. II dieses Werkes, S. 123.

⁶⁾ E. v. Drygalski in Abhandl. d. K. Bayer. Akad. d. Wissensch., Math.-phys. Klasse, XXV, 7, 1911, S. 25.

vom Gaußberg, teils durch eisfreie Berge und Täler oder Meeresbuchten und Sunde sowohl in den Nähr- wie in den Abfluß-Gebieten Gliederungen und Auflösungen, und damit Entwicklungen der anderen drei Typen erfolgen¹⁾, so besteht doch kein Zweifel, daß im Grunde alles zusammengehört, alles zu dem einen großen Inlandeis des Kontinents, das in dem antarktischen Klima überall entsteht und ernährt wird, sich auch überall weiter entwickeln, sich auflösen und wieder vereinigen kann.

Denn die Winde, welche die Entwicklung im wesentlichen bedingen, und die Schneewehenbildung, in der sie sich vollzieht, folgen freilich im großen bestimmten Richtungen, in denen das Inlandeis wächst, doch im einzelnen allen. Jedes äußere Hindernis kann die Richtung der Wehen verändern, so ein Eisberg im Meereis, ein Fels oder eine Scharte auf dem Lande oder ein zufälliger Riß in den Wehen selbst. Sie können dann Höhen überwachsen²⁾ oder Täler erfüllen oder Vorländer übereisen; sie können Eisberge verbinden und Sunde überbrücken und Inseln an das Land schließen. Was jetzt getrennt liegt und deshalb als besondere Eisform erscheint, kann bald zum großen ganzen gehören, und was vereint ist, kann abgetrennt werden. Es ist alles von gleicher Art und in gleicher Weise entstanden durch Schneefall und Wind, und alles wird Inlandeis, ob verbunden oder getrennt, ob strömend oder bewegungslos, ob wachsend oder schwindend, ob auf Höhen oder im Vorland; alle Formen und Arten des Eises sind Teile des ganzen, Glieder des einen großen Körpers, mit dem sie bestehen und vergehen, immer aber auch nach den Landformen gestaltet, je nach ihrer Dicke in verschiedenem Grad.

Erst das Meer gibt die Grenzen, wo sein Boden zu Tiefen absinkt, in denen das Eis nicht mehr aufliegen kann, sondern schwimmen muß; das ist an der Böschung zwischen

¹⁾ O. Nordenskjöld in Schwed. Südp.-Exp. I, 1, S. 115.

²⁾ Gourdon in Exp. ant. Française, Géographie phys.-Glaciol., S. 100.

Tiefsee und Schelf. Bis dahin gibt es flachere Stellen, wo das Eis aufliegen kann, und es hängt nur von seiner Mächtigkeit ab, wie weit das geschieht, während auf der Böschung jede Dicke dafür versagt. In der Eiszeit war diese größer als jetzt, also war auch die Verbreitung im Schelfmeer größer; dann schwand mit der Eiszeit die Dicke dahin und die den Tiefen nicht mehr gewachsenen Massen sind zum schwimmen gekommen.

Das ist das Schelfeis, ein Relikt aus der Eiszeit, nicht weil die heutigen Massen noch aus der Eiszeit stammen, sondern nur in dem Sinne Relikt, weil sie vielfach liegen, wo beim Rückgang der Eiszeit die äußeren durch Schwund verdünnten Teile zum schwimmen kamen. Die eiszeitlichen Massen selbst dürften im Laufe der Zeiten vergangen sein oder in tieferes Meer gedrängt, zu Bergen aufgelöst und davon getrieben; doch durch die vom Inlandeis nachgeschobenen Massen sind sie ersetzt. Es ist früher erörtert, warum sie zusammenhalten. Es liegt an den Bänken und Untiefen des Schelfmeeres, auf denen die Eisberge stranden; in anderen Erdräumen liegt es auch an übermeerischen Landformen, wofür das schwimmende Inlandeis A. Wegeners ein schönes Beispiel gibt¹⁾.

An der äußeren Grenze des Schelfeises beginnt das Treibeis, jenes wechselnde Gemenge von Schollen und Bergen, das zunächst nur von Waken und Rinnen durchteilt wird, weiter nördlich ausgefasert und schließlich aufgelöst ist und sich um die ganze Antarktis legt. Es hat sehr verschiedene Breiten, die innen im Süden, wenn das Schelfeis fehlt, wie östlich vom Gaußberg, am Rande des Inlandeises beginnt, sonst am Rande des Schelfeises. Die Ausdehnung nach Norden hängt für die Schollen wesentlich von den Winden ab, welche die Kanten ausfasern, und für die Berge von den Meeresströmungen, welche sie einzeln bis in die niederen Breiten des Kaps der guten Hoffnung und der subantarktischen Inseln entführen²⁾, bis-

¹⁾ J. P. Koch und A. Wegener in *Meddelelser om Grønland*, 46, 1. Kap., I und Taf. V.

²⁾ K. Fricker, *Antarktis*, S. 205, 208 und Karte. O. Krümmel, *Ozeanographie*, Bd. I, 1907, S. 518, 525.

weilen auch in Schwärmen und in solche Gebiete, die für gewöhnlich davon frei sind, z. B. Kerguelen¹⁾.

Der äußere Rand des geschlossenen Treibeisgürtels, der um den 65° s. Br. liegt, hängt von der Grenze der festen Eisbildungen bzw. von der Lage der Küste ab, wie ich ausgeführt habe, desgleichen die Waken und Straßen, die durch ihn hindurchführen. Die herrschenden Winde, die von den Küsten abgehen, halten diese frei und umbauen die anderen, gegen die sie gerichtet sind. Die freie Ost- und die blockierte West-Küste des Weddell-Meers²⁾, sowie die freie Ostseite der Posadowsky-Bai sind Beispiele dafür. Dabei können die von den Rändern des festen Eises abgehenden Winde die dort abgelösten Berge und immer wieder neu gebildeten Schollen dauernd entnehmen und in ihrer Richtung verteilen. So entstehen die Ausbiegungen der Kanten des geschlossenen Gürtels, wie ich sie schilderte, und zwischen ihnen Buchten, wo diese Zufuhr fehlt. Man kann aus dem allgemeinen Verlauf der äußeren Grenzen auf die Umrisse des festen schließen, die dahinter liegen. Nur die Einzelzüge der Treibeiskanten und ihre Ausfaserungen ins freie Meer dürften zufällig sein, nämlich durch die wechselnden Winde und Driften bedingt.

Wie weit die Lage der Kanten des geschlossenen Gürtels von der Jahreszeit abhängt, ist noch nicht zu entscheiden. Da die Winde und die Strömungen im Sommer wie im Winter gewaltige Massen von Bergen und Schollen zur Verteilung finden, dürfte die Abhängigkeit beschränkt sein. Andererseits ist aber der Treibeisgürtel im Sommer so erheblich gelockert, schon nach den Bewegungen des Meeres zu schließen, die dann weit kräftiger bis zum Inlandeis dringen wie im Winter, daß man auch eine stärkere Auflösung der äußeren Kante annehmen darf³⁾.

Über die Dichte und Beschaffenheit des Treibeises habe ich früher berichtet. Jene wechselt mit den Winden, die das

¹⁾ L. E. Dinklage in Ann. d. Hydrographie, Mai 1897.

²⁾ L. Mecking in Deutsche Südp.-Exp., Bd. III, 2, Berlin 1911, S. 119.

³⁾ H. Arctowski in Expéd. ant. Belge, Océanogr., Anvers 1909, S. 44.

Eis zusammenschieben, während es bei Stille zerfällt. Dabei kommt es zu Packungen weniger als im nördlichen Eismeer, weil es im Süden an festem Land und damit an Widerlagern fehlt, gegen die das Eis gestaut und geprefst wird; es strahlt von seinen südlichen Ursprungsstätten am Inlandeis und am Schelfeis radial ins freie Weltmeer hinaus. Deshalb sieht man im Süden mehr die mit Trümmern umwulsteten Fladen, als die aufeinander getürmten und aufgerichteten Schollen.

Die Beschaffenheit des Treibeises wechselt. Überall trifft man Berge und Schollen, außen wie innen, nur nimmt die Zahl der ersteren relativ nach außen hin ab, wo nicht gerade Schwärme von Eisbergen erscheinen. Überall trifft man dickere und dünnere Schollen, beide meist in Gruppen gesammelt, und überall auch Eisbrei oder Gasch, wie er durch das Reiben und Drängen der Schollen aneinander entsteht. Man kann nicht sagen, daß die Dicke der Schollen nach außen durchschnittlich abnimmt, da Gruppen der schwersten Schollen bis zur Kante erscheinen. Eher könnte es sein, daß wesentlich immer zwei Schollenstärken zu sehen sind, die ganz schweren, welche innen in fester Lage entstanden und sich nach dem Aufbruch ihrer Felder lange und wenig verändert erhalten, und die dünnen leichten, die im Treibeis selbst zwischen den dicken Schollen entstehen und frühe vergehen. Es ist aber nicht möglich, über die Mengen dieser beiden Schollenarten und etwaige Zwischenstadien nähere Angaben zu machen.

Will man nun das gesamte Eis des Südens nach seinen verschiedenen Eigenschaften zur Übersicht ordnen, so kommt man zu umstehendem Bilde.

Man kann die Reihen desselben gewiß noch vermehren, doch dürften sie schon jetzt die Zusammenhänge aller Eisbildungen des Südens zeigen, und im besonderen das Schelfeis als Übergangsform.

Die Eigenschaften dieses Schelfeises gliedern es teils an das Inlandeis und teils an das Treibeis an, ohne daß es ganz zu dem einen oder dem andern gehört. Es hat den gleichen Zwischencharakter, der dem Schelf und dem Schelfmeer selbst

zwischen dem Kontinent und der Tiefsee zukommt, also zwischen dem Herrschaftsgebiet des Landes und des Meeres, zwischen diesen beiden größten Kontrasten der Erde. Wie das Schelfmeer und der Schelf gehört auch das Schelfeis nach seiner Entstehung zum Lande und nach seiner Erscheinung zum Meere, und es stellt, weil es Eis ist, den Übergang des festen zum flüssigen auch seiner Masse nach dar.

Die Eismassen des Südens.

Antarktis	Antarktis	Subantarktis
Kontinent	Schelfmeer	Tiefsee
Inlandeis	Schelfeis	Treibeis
aufliiegend	gestützt	schwimmend
strömend	geschoben	getragen
Innenschwund	Außenschwund	Außenschwund
geschichtet	geschichtet	geschichtet
Ernährung	Stillstand	Abnahme
Spaltbildung	Zerfall	Zerfall
Schnee-Eis	Schnee-Eis	Schnee-Eis
salzfrei	salzfrei	salzarm
geschlossen	gesammelt	aufgelöst
Vereisung	Verkittung	Verfließung
Brucheis	Brucheis	Breieis
Gletscher	Blaueis	Stückeis