

BEITRÄGE ZUR KENNTNIS DER ANTARKTIS \*)

Zum Gedächtnis an *Wilhelm Meinardus*

*Fritz Loewe*

*Contributions to the knowledge of the Antarctic*  
In memory of Wilhelm Meinardus

*Summary:* The article discusses recent information regarding the climate of the antarctic regions, the regime of the ice cap and the conditions of the antarctic ice shelves in general.

Since the publication, 15 years ago, of the comprehensive Klimatologie der Antarktis by *Meinardus* much new information has become available. A selection of it is presented, particularly the data from the "Bolling Advance Base" in the centre of the Ross Ice Shelf and the observations from the free atmosphere. In the light of these data the reasons for the most characteristic feature of the antarctic climate, the coldness of the summer, are discussed, as well as the question of a "glacial anticyclone" and the nature of the winds which blow frequently, and locally with extreme strength, off the ice cap. As in Greenland, the glacial anticyclone is of little strength, and the katabatic winds derive their force from the gravity component along the inclined surface of the ice and hardly at all from a horizontal pressure gradient in the air.

With the aid of observations made recently in Adelie Land the importance of snow drift for the regime of the ice cap in this regions is studied, and new data regarding the regime of the Ross and Queen Maud Ice Shelves are summarised.

Ice shelves are the best known features among the antarctic ice types as six winter stations have been maintained on them. Seismic observations show that they are partly grounded and partly floating and that they are about 200—250 m. thick. They consist in their upper part of firn which changes lower down into ice. The results regarding their detailed structure seem still contradictory. They grow by accumulation of snow at their surface; some observations seem to indicate that, at least locally, they may also increase by freezing on their lower side. The Ross Ice Shelf moves about 1 km. per year near its edge. The ice shelves maintain a delicate equilibrium between thickening by accumulation and thinning by viscous flow.

Owing to new technical means of transport and research a much more detailed study of almost any part of the most inaccessible of continents has now become possible.

Es ist gerade ein halbes Jahrhundert vergangen, seit der „Gauß“ von seiner Überwinterung nahe der Küste der Antarktis zurückkehrte und seitdem *Wilhelm Meinardus* begann, sich antarktischen Fragen zu widmen. Allerdings reicht die Verbindung zwischen *Meinardus* und der Südpolarforschung noch weiter zurück; er war als Meteorologe der Gauß-Expedition vorgesehen und

wurde erst im letzten Augenblicke durch *Ernst Enzensperger*, den ersten Zugspitzbeobachter, ersetzt, der dann während der Überwinterung auf Kerguelen verstarb. In jahrzehntelanger Arbeit hat *Meinardus* die meteorologischen Ergebnisse der Expedition und der in Zusammenhang damit ins Leben gerufenen „Internationalen Meteorologischen Kooperation“ mustergültig verarbeitet (42); daran anschließend hat er sich in zahlreichen grundlegenden Veröffentlichungen mit den klimatischen Eigenheiten des Südpolargebietes und seinem gegenwärtigen (40) und eiszeitlichen (41) Massenhaushalt beschäftigt. Seine Bestimmung der Höhe des damals noch fast ganz unbekanntes Kontinents mittels der jahreszeitlichen Luftdruckschwankungen außerhalb der Antarktis ist stets als eine bemerkenswerte Leistung betrachtet worden. Seine klimatologischen Studien gipfeln in seiner „Klimakunde der Antarktis“ (43), die in erschöpfender Weise alles bis 1936 verfügbare Material zusammenfaßt. Seit dieser Zeit haben sich die Kenntnisse der Südpolargebiete räumlich und sachlich wesentlich vermehrt; ja, es darf gesagt werden, daß dank instrumenteller und technischer Fortschritte die Südpolarforschung seit 15—20 Jahren in eine neue Epoche eingetreten ist. Über die damit in Zusammenhang stehenden Veröffentlichungen unterrichtet am besten der „Polar Record“ in seinen halbjährlich erscheinenden Schrifttumslisten (52). Für den amerikanischen Sektor sei auf die von *Sparn* veröffentlichten Bibliographien hingewiesen (72). Der augenblickliche Stand der Kenntnisse auf verschiedenen Gebieten ist in einem kürzlich erschienenen Sammelwerk zusammengefaßt (69).

1. Zum Klima der Antarktis

Die einzigen von *Meinardus* (in 43) nicht erwähnten meteorologischen Beobachtungen aus früherer Zeit sind 1921 während einer Überwinterung an der Westküste von Grahamland (64° 48'S, 62° 43'W) gewonnen worden (34); jedoch wurden die Jahresmittelwerte erst später veröffentlicht (6). (Auf den Streit über die Bezeichnung der antarktischen Halbinsel, Grahamland oder Palmerhalbinsel, sei hier nicht eingegangen,

\*) Dem Commonwealth Meteorological Bureau, der Australian National Antarctic Research Expedition und den Expéditions Polaires Françaises habe ich für die Benutzung unveröffentlichter Beobachtungen zu danken.

ebensowenig auf den Streit zwischen Großbritannien, Argentinien und Chile über die staatliche Zugehörigkeit dieser Gebiete [9a]). Auch die Beobachtungen der westlichen Überwinterungsstation der *Mawson*schen Expedition auf dem Shackletonschelfeis von Königin-Mary-Land ( $66^{\circ}18'S$ ,  $95^{\circ}1'E$ ) im Jahre 1912 lagen *Meinardus* noch nicht vor; sie sind erst 1939 erschienen (46). Eine wertvolle Zusammenfassung der klimatischen Ergebnisse dieser Expedition mit ihren Überwinterungsstationen in König-George-V.-Land, Königin-Mary-Land und auf der Macquarieinsel hat *Kidson* gegeben (32). Die reichen Ergebnisse der Expeditionen *Byrds* nach der Ostseite des Ross-Schelfeises in den Jahren 1929 und 1934, von denen *Meinardus* nur einige vorläufige Auszüge zur Verfügung standen (43), sind seitdem ausführlich veröffentlicht worden (26, 27). Sie umfassen auch die Beobachtungen der von Ende März bis Mitte Oktober 1934 auf dem Ross-Schelfeis nach Süden vorgeschobenen Station „Bolling Advance Base“ (7, 26, 27). Die Station lag auf  $80^{\circ}8'S$ ,  $163^{\circ}55'W$  in etwa 80 m Meereshöhe und 180 km südlich der gleichzeitig besetzten Hauptstation „Little America II“. Es dürfte erinnerlich sein, daß *Byrd* allein an der Station weilte und in der Mitte der Polarnacht schwer an Kohlenoxydvergiftung erkrankte. Die Reise der Entsatzabteilung von Little America zur Bolling Basis in der Polarnacht bei Temperaturen bis  $-55^{\circ}$  muß der von *Wilson*, *Bowers* und *Cherry-Garrard* vom McMurdo-Sund nach Kap Crozier im Winter 1911, der „Schlimmsten Reise der Welt“ (9) zur Seite gestellt werden. Da die Werte der Bollingstation die bisher einzigen Winterbeobachtungen in erheblicher Entfernung von der Küste der Antarktis sind, rechtfertigt sich ein kurzer Auszug.

scheint bisher trotz der zahlreichen Schlittenreisen auf dem Ross-Schelfeis nicht geschehen zu sein. Leider hat auch *Amundsen* keine solche Beobachtung auf dem Südpolarplateau vorgenommen, zu der wohl auf seinem Rückmarsch Gelegenheit gewesen wäre, so daß wir noch ohne Kenntnis der im polnächsten Teil der Antarktis herrschenden Jahrestemperaturen sind. (Im Jahre 1951 wurde in  $74^{\circ}S$ ,  $0^{\circ}E$  bei einer Meereshöhe von 2700 m eine mittlere Jahrestemperatur von  $-40^{\circ}$  gefunden [62 S. 19], in  $69^{\circ}S$ ,  $142^{\circ}E$  in 1950 m eine solche von  $-33,5^{\circ}$ ) (22a S. 41).

Die Veränderlichkeit der Wintertemperaturen an der Bollingstation ist sehr groß; dieses Kennzeichen hochpolaren Klimas tritt auch in Little America und im Innern des grönländischen Inlandeises auf. Es ist verursacht durch den Einfluß des wechselnden Windes auf die oberflächennahe Kaltluftschicht. Die interdiurne Veränderlichkeit der Tagesmittel ist  $5,7^{\circ}$ , gegen  $6,4^{\circ}$  in Little America und im Innern Grönlands (77). Vom 27. März bis zum 11. Oktober 1934 änderte sich an der Bollingstation das Tagesmittel 30mal um mehr als  $10^{\circ}$ , in Little America in der gleichen Zeit sogar 38mal (26); in Mitteleuropa ist eine solche Änderung nicht in jedem Jahr zu erwarten. In Little America hat gelegentlich das Tagesmittel aufeinanderfolgender Tage um  $23^{\circ}$  zugenommen, um  $25^{\circ}$  abgenommen. Solche Werte werden sonst nahe dem Meeresspiegel wohl kaum beobachtet, doch treten sie auch im Innern des grönländischen Inlandeises auf. Die Veränderlichkeit der Temperaturen an der Bollingstation ist im ganzen etwas kleiner als in Little America, wo, am Rande des Schelfeises, die Kaltluftschicht leichter gestört oder ganz entfernt werden kann als im Innern.

Bollingstation 1934

	April	Mai	Juni	Juli	August	September	April—Sept.
Temperatur-Mittel $^{\circ}C$	— 36	— 35	— 32	— 46	— 44	— 43	— 38,9
Mittl. tägl. Temp.-Schw.	11	12	12	10	13	11	12
Wind m/sec.	4	3	4	3	3	4	4
Result. Richtung	SEzE	SE	SEzE	SzE	SEzE	NWzN	SEzE
Beständigkeit %	70	45	50	40	10	20	34

Die Temperaturen sind 7 Grad kälter als die gleichzeitigen Temperaturen in Little America, das selbst, verglichen mit der Westseite des Ross-Schelfeises, schon 8 Grad kälter ist. Die Mitteltemperatur des Jahres in der Mitte des Ross-Schelfeises kann daher auf  $-32^{\circ}$  geschätzt werden, erheblich niedriger als der von *Meinardus* für  $80^{\circ}S$  angenommene Mittelwert von  $-27^{\circ}$  (43). Es wäre leicht möglich gewesen, dieses Mittel durch eine Temperaturmessung in einer Aufgrabung im Firn bis zu etwa 3 m Tiefe festzustellen. Das

Die mittlere Windrichtung an der Bollingstation kann durch das Tiefdruckgebiet über dem Rossmeere oder durch den von höheren Teilen des Inlandeises unter Schwerkraftwirkung abfließenden Wind erklärt werden, oder durch das Zusammenwirken beider Einflüsse. Die gleichzeitigen Druckaufzeichnungen in Bollingstation und Little America (26) können leider zur Klärung dieser Frage wie der nach der „glazialen Antizyklone“ nichts beitragen, weil die Höhe der Bollingstation nur barometrisch bestimmt ist. —

Aus der Zeit vor der Zusammenfassung durch *Meinardus* stammen auch die Beobachtungen der „British Graham Land Expedition“, die ihr Standquartier von März 1935 bis Januar 1936 auf der Argentinieninsel ( $65^{\circ}15'S$ ,  $64^{\circ}16'W$ ), von März 1936 bis Januar 1937 auf einer der Barryinseln ( $68^{\circ}8'S$ ,  $67^{\circ}6'W$ ) hatte. Von ihnen sind wohl nur zwei Tabellen mit Monatswerten und kurzen Erläuterungen veröffentlicht worden (63). Unvollkommene wissenschaftliche Auswertung mühselig gewonnener Beobachtungen von Polarexpeditionen ist leider nur zu häufig.

Seit der Veröffentlichung der *Meinardusschen* Zusammenfassung im „Handbuch der Klimatologie“ sind mehrere neue Beobachtungsreihen aus der Antarktis verfügbar geworden. Über sie und zahlreiche Fragen der südpolaren Atmosphäre gibt *Court* einen umfassenden, durch reiche Schrifttumsangaben wertvollen Überblick (12). Auf die Tausende von Beobachtungen der Walfangschiffe, die jetzt auch im täglichen Vorhersagedienst verwendet werden, sei hier nur hingewiesen (32 a, 48, 49 a).

Die meteorologischen Ergebnisse der dritten Überwinterung *Byrds* in Little America 1940 während der „United States Antarctic Service Expedition“ (20) liegen jetzt vor (11); die Arbeit enthält auch eine wertvolle Zusammenstellung der früheren Beobachtungen in Little America und an der benachbarten Überwinterungsstation *Amundsens* Framheim. Besonders sei auf die 189 Radiosondenaufstiege hingewiesen, die zum ersten Male ein zuverlässiges und zum Teil unerwartetes (10) Bild vom Aufbau der antarktischen Atmosphäre bis zu großen Höhen geben (12). Sie stellen, zusammen mit den über tausend Pilotballonbeobachtungen, einen wertvollen Beitrag zum strittigen Problem der glazialen Antizyklone dar. Gleichzeitig mit der dritten Überwinterung in Little America arbeitete die Ostabteilung der Expedition mit ihrer Station in der Margueritebucht in Grahamland (18). Von hier aus wurde während des Sommers von Oktober bis Dezember 1940 eine Zweigstation auf der vergletscherten Höhe des Grahamlandes in  $68^{\circ}8'S$ ,  $66^{\circ}32'W$ , 1675 m über dem Meeresspiegel, unterhalten (19). Eine ähnliche Hochstation arbeitete einige Jahre später während der „Ronne Antarctic Research Expedition“, die vom März 1947 bis Februar 1948 ihr Standquartier auf der Stoningtoninsel ( $68^{\circ}12'S$ ,  $67^{\circ}0'W$ ) hatte, vom September bis zum November 1947 auf einer Höhe von 1750 m in  $68^{\circ}6'S$ ,  $66^{\circ}24'W$  (51). Diese Expedition hat vom Oktober 1947 bis zum Februar 1948 die ersten Messungen der einkommenden Strahlung im Südpolargebiet vorgenommen (50). Bemerkenswert sind die auch

schon im Nordpolarbecken beobachteten hohen Strahlungswerte bei niedriger geschlossener Wolkendecke und Niederschlag. Sie sind zwei- bis dreimal größer als in gemäßigten Breiten und sind sicher von Bedeutung für die Schmelzung und Verdunstung des Schnees und das spärliche Pflanzenleben. Die Ursache der großen Durchlässigkeit ist der geringe Wassergehalt der antarktischen Wolken.

Die im Jahre 1903 durch die „Scottish National Antarctic Expedition“ auf der Laurieinsel der Südorkneygruppe ( $60^{\circ}44'S$ ,  $44^{\circ}44'W$ ) errichtete Station, bis vor kurzem die einzige Dauerstation südlich von  $60^{\circ}S$ , blickt nunmehr dank der Fürsorge durch den argentinischen Staat auf ein halbes Jahrhundert ununterbrochener Tätigkeit zurück. Die Ergebnisse der 48 Jahre 1903 bis 1950 sind kürzlich in großer Vollständigkeit veröffentlicht worden (13). Sie ergänzen und erweitern die von *Meinardus* für 32 Jahre gegebenen Werte (43), ohne jedoch wesentlich davon abzuweichen. Es ist bemerkenswert, daß die Beobachtungen der Laurieinsel keine Erhöhung der Wintertemperaturen seit etwa 1920 zeigen, wie sie im atlantischen Teil des Nordpolargebiets so merklich gewesen ist (55). Soweit die lückenhaften Beobachtungen von der Ostseite des Roßmeeres (11) und südlich von Ostaustralien (32 und S. 4) einen Schluß zulassen, ist auch dort innerhalb der letzten 40 Jahre keine erhebliche Temperaturänderung eingetreten.

Seit den letzten Kriegsjahren ist, z. T. aus militärischen und politischen Gründen, die Zahl der meteorologischen Stationen im amerikanischen Sektor der Antarktis stark vermehrt worden. Die folgenden britischen, argentinischen und chilenischen Stationen sind dort tätig gewesen.

Name	Ort	Beobacht.-Zeit
<i>A. Britisch</i>		
1. Signyinsel	$60^{\circ}43'S$ , $45^{\circ}35'W$	seit 1947
2. Admiraltybucht	$62^{\circ}5'S$ , $58^{\circ}25'W$	seit 1948
3. Deceptioninsel	$62^{\circ}58'S$ , $60^{\circ}34'W$	seit 1944
4. Hopebucht	$63^{\circ}24'S$ , $56^{\circ}59'W$	1945–48, 1952–
5. Lockroyhafen	$64^{\circ}50'S$ , $63^{\circ}31'W$	1944–46, 48, 50, 52–
6. Argentinieninseln	$65^{\circ}15'S$ , $64^{\circ}16'W$	seit 1947
7. Stoningtoninsel	$68^{\circ}11'S$ , $67^{\circ}0'W$	1946–49 (1940 amerik.)
8. Kap Geddes, Laurieinsel	$60^{\circ}42'S$ , $44^{\circ}34'W$	1946
9. Viewspitze	$63^{\circ}32'S$ , $57^{\circ}27'W$	seit 1953
<i>B. Argentinisch</i>		
1. Laurieinsel	$60^{\circ}44'S$ , $44^{\circ}44'W$	seit 1903
2. Deceptioninsel	$62^{\circ}59'S$ , $60^{\circ}43'W$	seit 1948
3. Gammainsel	$64^{\circ}20'S$ , $62^{\circ}59'W$	seit 1947
4. Margueritebucht	$68^{\circ}55'S$ , $67^{\circ}27'W$	seit 1951
5. Hopebucht	$63^{\circ}24'S$ , $56^{\circ}59'W$	seit 1952
6. Proaspitze (Paradieshafen)	$64^{\circ}53'S$ , $62^{\circ}53'W$	seit 1952
7. Lunabucht	Livingstone-Insel (Südschottlandinseln)	seit 1953

Name	Ort	Beobacht.-Zeit
<i>C. Chilenisch</i>		
1. Greenwichinsel	62°29'S, 59°38'W	seit 1947
2. Kap Legoupil	63°19'S, 57°54'W	seit 1948
3. Dancoküste	64°49'S, 62°52'W	seit 1951

Die britischen Beobachtungen für 1951 sind veröffentlicht (23), diejenigen für 1944 bis 1950 stehen vor der Veröffentlichung. Seit einiger Zeit werden außerdem die Monatswerte der meisten dieser Stationen mit kurzer Verzögerung laufend veröffentlicht (45). Es zeigt sich, daß das Gebiet südlich Südamerika schon ganz befriedigend mit Stationen versehen ist.

In Adélieland, dem französischen Sektor südlich von Ostaustralien, hat eine französische Expedition von Januar 1950 bis Januar 1953 verweilt. Die Überwinterungsstation der beiden ersten Jahre, Martinhafen am Kap De Margerie (66° 49' S, 141° 24' E), liegt nur 60 km westlich von *Mawsons* Überwinterungsstation 1912 bis 1913 auf Kap Denison (22a, 22b). Die Überwinterung 1952 fand nach Zerstörung der Station Martinhafen durch Feuer im Januar 1952 65 km weiter westlich, auf Geologiespitze (66° 38' S, 140° 0' E) statt. Die klimatischen Verhältnisse in Martinhafen und Kap Denison sind fast gleich, auch in bezug auf die beispiellose Stärke des vom Inlandeis her wehenden Schwerewindes (32, 37a). Die folgende Tafel gestattet den Vergleich:

		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Jahr
Martinhafen 1951	° C	- 2	- 5	- 10	- 17	- 15	- 20	- 21	- 18	- 21	- 12	- 5	- 2	- 12,3
	m/s	13	14	29	24	18	17	22	20	18	16	18	13	18,5
Kap Denison 1912/13	° C	- 1	- 4	- 11	- 17	- 18	- 20	- 20	- 18	- 18	- 15	- 8	- 3	- 12,8
	m/s	13	14	21	21	23	22	24	22	19	22	17	16	19,5

Es ist ein Beweis für die beschränkte Ausdehnung des Gebietes heftigster Schwerestürme, daß in Geologiespitze im Mittel nur etwa die halbe Windstärke gemessen wurde. Die Ergebnisse der französischen Stationen, die auch ein sehr reiches Material aus der freien Atmosphäre umfassen, stehen vor der Veröffentlichung.

Schließlich hat in den Jahren 1950 und 1951 die „Norwegisch-Britisch-Schwedische Antarktische Expedition“ in Königin-Maud-Land an der Station Maudheim in 71° 3' S, 10° 56' W überwintert. Einige vorläufige Ergebnisse sind veröffentlicht (65, 52 Jan. 1953).

		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Jahr
Maudheim März 50./Dez. 51	° C	- 4	- 8	- 15	- 19	- 24	- 27	- 27	- 26	- 24	- 18	- 11	- 5	- 17,4
	m/s	9	9	6	8	8	7	8	8	8	8	7	6	7,8
Königin-Mary-Land 1912	° C	- 5 (- 7)	- 15	- 19	- 22	- 26	- 19	- 20	- 17	- 13	- 8	- 4	(- 14,2)	

Die nicht leicht zugänglichen Temperaturwerte von Königin-Mary-Land (32) sind hinzugefügt.

Die Temperaturen in Maudheim sind mehrere Grade kälter als die weiter östlich, z. B. in Kap Adare, in ungefähr derselben Breite gemessenen; sie entsprechen denen von *McMurdosund* in 77<sup>1</sup>/<sub>2</sub>° S (43). Es wäre nicht überraschend, wenn die Küste der Antarktis im atlantischen Gebiet, nahe dem Ostausgang des Weddellmeeres, des Eiskellers der Antarktis, kälter wäre als weiter östlich im Indischen und Pazifischen Sektor. Die Isothermenkarten von *Meinardus* (43) zeigen dies für den ganzen subantarktischen Meeresbereich. Es ist aber auch möglich, die Kälte in Maudheim damit zu erklären, daß es nicht an der Küste selbst, sondern einige Kilometer südwärts auf ebenem Schelfeis gelegen ist. Der scharfe Temperaturfall zwischen Küste und Schelfeis ist von *Simpson* ausführlich erörtert worden (67).

Die wesentliche Zunahme der Beobachtungen an den Küsten der Antarktis läßt um so deutlicher die große Lücke erkennen, die im Fehlen einer Jahresreihe von Beobachtungen entfernt von der Küste besteht. „Das dringendste Erfordernis zur Klärung so vieler noch strittiger Fragen ist die Errichtung von Stationen in möglichst weit in das Kerngebiet der Antarktis vorgeschobenen Positionen“, wie *Meinardus* schon vor 25 Jahren schrieb (42). Wie die erfolgreichen Überwinterungen der letzten Jahre im Herzen

Grönlands (21, 22) beweisen, stehen die technischen Mittel dazu zur Verfügung.

Auch in der Subantarktis haben die klimatischen Beobachtungen sich wesentlich vermehrt (48). Neue Dauerstationen sind seit 1941 auf *Campbellinsel* (52° 32' S, 168° 59' E) (45), seit 1948 auf *Heardinsel* (53° 6' S, 72° 31' E) und *Macquarieinsel* (54° 30' S, 158° 53' E) (24, 44) tätig. Es ist interessant, die nunmehr fünfjährige, vom Commonwealth Meteorological Bureau zur Verfügung gestellte Beobachtungsreihe von *Heardinsel* mit der Schätzung von *Meinardus* (39) zu vergleichen; die Übereinstimmung ist ausgezeichnet.

## Heardinsel (1948—1952)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Jahr
° C	3,2	3,5	3,0	2,2	1,3	-0,4	-0,8	-1,0	-1,3	-0,6	0,5	2,4	1,0
(Meinardus)	3,5	3,2	0,3	-0,7	-1,6	-1,1	-2,4	-2,5	-2,4	-1,6	0,3	2,7	-0,1
Druck mb	995	999	1000	998	994	991	995	995	995	993	991	994	995,0
Nied. cm	15	15	15	16	14	10	10	6	6	8	9	11	135
Marion ° C	6,2	6,8	7,0	5,8	4,7	4,1	3,3	3,2	3,3	3,8	4,8	5,5	4,9
1948—52													

Das Klima der Heardinsel ist hochozeanisch, mit einer jährlichen Schwankung der Monatsmittel von weniger als 5°, wie Macquarieinsel und Marioninsel. Der ozeanische Charakter tritt auch in der Verspätung der jährlichen Extreme auf Februar und September zutage. Infolge der niedrigen Sommertemperaturen liegt die Firngrenze, in der Breite von Bremen, nur etwa 300 m hoch (33), was die überaus starke Vergletscherung der bis 2700 m aufragenden Insel erklärt. Heardinsel ist in derselben Breite etwa 4° kälter als Macquarieinsel, wo auf dem bis 500 m emporsteigenden Plateau Dauerschnee und Vereisung völlig fehlen. Wie die letzte Zeile der obigen Tabelle zeigt, ist Marioninsel in 47° S, 38° E nicht wärmer als Macquarieinsel 850 km weiter südlich.

Zur Zeit der Zusammenfassung durch *Meinardus* (43) war über das Klima der freien Atmosphäre in antarktischen Breiten sehr wenig bekannt. Von Temperaturbeobachtungen lagen, abgesehen von einigen Registrierballonflügen der Terra-Nova-Expedition *Scotts* (67), nur die Drachenaufstiege der „Deutschland“-Drift im Weddellmeer vor (6 a), an Höhenwinden die der „Deutschland“ und eine vorläufige Zusammenfassung der Messungen in Little America (28). Kurz darnach wurden die zahlreichen Flugzeug- und Drachenaufstiege und Pilotballonflüge der 1. und 2. Expedition *Byrds* veröffentlicht (26, 27). Radiosonden wurden zum ersten Mal erfolgreich in der Antarktis auf der „Schwabenland“-Expedition verwendet (57), in größerem Umfange 1940/41 in Little America. Ein Überblick über die vorliegenden Beobachtungen ist von Court gegeben worden (11). Einen besonderen Hinweis verdienen die 350 Radiosonden und 418 Pilotballonflüge, die im Sommer 1946/47 während der vereinsstaatlichen „Operation Highjump“ rings um die Antarktis ausgeführt wurden (1, 29). (Die Ergebnisse der im nächsten Jahr anschließenden „Operation Windmill“ sind leider nicht allgemein zugänglich).

Von den Ergebnissen der Radiosondenflüge ist besonders bemerkenswert die zuerst in Little America 1940 festgestellte (10) und seitdem durch die Flüge in Königin-Maud-Land bestätigte (62,

S. 12), aber in Martinhafen nicht gefundene Tatsache, daß gegen Winterende die Stratosphäre von gleichbleibender Temperatur verschwindet und die Temperaturen bis in große Höhen abnehmen, wo sie unter -80°, gelegentlich auf -90°, sinken. Im folgenden sind für die untere, klimatologisch mehr interessierende Hälfte der Troposphäre die Temperaturwerte für Little America und die bisher unveröffentlichten Werte für Martinhafen gegeben; zum Vergleich sind die Werte am Kältepol der Nordhalbkugel beigelegt.

Höhe km	Little America 78,5°S 162°W		Martinhafen 66,8°S 141°W		Arcticbucht 73,3°N 49°W	
	Sommer	Winter	Sommer	Winter	Sommer	Winter
0	-8	-35	-3	-20	4	-28
1	-9	-26	-9	-20	0	-24
3	-19	-32	-19	-27	-10	-29
5	-31	-44	-29	-39	-22	-41

Der hervorstechendste Zug im Bodenklima der hohen Südbreiten ist bekanntlich die niedrige Sommertemperatur, und dies trotz 6% stärkerer Einstrahlung von der näheren Sonne als im Norden, während im Winter die Werte über den Südpolarbreiten denen der kältesten Teile der Arktis vergleichbar sind. Die wesentliche Ursache des Unterschiedes dürfte in der Schnee- und Eisbedeckung der Antarktis auch im Sommer liegen. Durch sie wird der größte Teil der einfallenden Sonnen- und Himmelsstrahlung diffus reflektiert und ein erheblicher Teil davon in den Raum zurückgestrahlt. Eine reine Neuschneefläche absorbiert ja nur etwa ein Fünftel von der Absorption einer schneefreien Land- oder eisfreien Wasserfläche und selbst nur ein Drittel der Strahlungsabsorption einer Meereisfläche. Die große Bedeutung dieser Tatsache für den Massenhaushalt von Schneeflächen ist zum ersten Male mit Entschiedenheit von *Wundt* betont worden (78).

Es mag gegen diese Erklärung der antarktischen Sommerkälte eingewandt werden, daß sie sich auch weit über die schneebedeckten Breiten hin ausdehnt. Heardinsel in der Breite von Hamburg hat ein Sommermittel von 3°, Marioninsel in der Breite von Graz hat ein solches von 6°. Für diese Kühle des subantarktischen Sommers lassen sich verschiedene Gründe anführen. Sie

beruht zum Teil auf dem hochozeanischen Charakter dieser Gebiete. Weiter mögen auf dem Wege über die niedrigen Wassertemperaturen, die ihrerseits durch die verbreitete Eisdrift bedingt sind, die kühlen Sommertemperaturen der Subantarktis tatsächlich auf die dauernde Schneedecke und die damit verbundene Sommerkälte der Antarktis selbst zurückzuführen sein. Und schließlich wäre zu erwägen, daß die verbreitete Wolkendecke dieser Gegenden eine dem Schnee der Antarktis entsprechende reflektierende Fläche für die einfallende Strahlung darstellt. Die relative Bedeutung dieser verschiedenen Einflüsse für die Sommerkühle der höheren Breiten der Südhalbkugel wäre noch zu untersuchen.

Zur Entscheidung solcher Fragen wäre eine Kenntnis des Wärmehaushalts, insbesondere des Strahlungshaushalts der antarktischen Breiten unerlässlich. Abgesehen von den umfassenden Arbeiten der Norwegisch-Britisch-Schwedischen Expedition nach Königin-Maud-Land (62, S. 11), deren Ergebnisse aber noch nicht vorliegen, und einigen Messungen der Expedition nach Adélieland (22a) sind aus der Antarktis noch keine Messungen des Strahlungshaushalts bekannt. Über die Einstrahlung allein geben über drei Monate ausgedehnte Messungen während der Expedition *Ronnes* einigen Aufschluß (50). Die Abhängigkeit der Einnahme und Ausgabe von Strahlung von den Bedingungen des Klimas und der Oberfläche ist aber hinreichend bekannt, um wenigstens in erster Näherung einen Überblick über den Strahlungshaushalt eines Inlandeises zu gewähren. Für das Innere des grönländischen Inlandeises hat *Albrecht* bereits eine solche Berechnung durchgeführt (3). Der entscheidende Faktor im Energiehaushalt ist das Reflexionsvermögen der Oberfläche. Es darf angenommen werden, daß über dem größten Teil des Inlandeises der Antarktis das ganze Jahr hindurch die Albedo des Schnees derjenigen frischen Neuschnees gleichkommt, so daß etwa  $\frac{2}{7}$  der auffallenden Sonnen- und Himmelsstrahlung reflektiert wird. Die Schneeoberfläche unterliegt weder der Verschmutzung durch Staub noch der Schmelzung, die in niedrigeren Breiten das Reflexionsvermögen älteren Schnees vermindern (73), und die häufig dichtere Packung durch den Wind kann wohl allein keinen nennenswerten Einfluß auf die Albedo haben.

Allerdings wird auf dem Inlandeis durch wiederholte diffuse Reflexion zwischen Himmel und Oberfläche der Strahlungsgenuß der Oberfläche wesentlich erhöht, bei wolkenlosem Himmel um etwa 15%, bei geschlossener dichter Wolkendecke um nicht weniger als etwa 150% der direkten Strahlung von Sonne und Himmel (79).

Trotzdem ergibt die Berechnung der Strahlungsströme, daß das antarktische Inlandeis, abgesehen von einigen Randgebieten, so gut wie ständig durch langwellige Ausstrahlung mehr Energie verliert als an Sonnen- und Himmelsstrahlung gewonnen wird. Das trifft bei vollem Sonnenschein bis zu einer Sonnenhöhe von  $40^\circ$ , der Mittagshöhe der Sommermitte in  $75^\circ$  Breite, zu. Nur bei Vorhandensein einer starken Temperaturumkehr in Verbindung mit geschlossener Wolkendecke (30, S. 117), einer seltenen Verbindung, oder bei sehr niedriger Temperatur und außerordentlich starker Temperaturumkehr (72a, S. 100, 44a, S. 44) kann die Einstrahlung die Ausstrahlung geringfügig übertreffen. Der dauernde Wärmeverlust der Antarktis durch Strahlung wird ganz überwiegend durch die Zufuhr von Luft höheren Wärmegehalts gedeckt. Die Antarktis stellt also eine gewaltige Wärmesenke dar, die weitreichende Wirkungen hat. So werden die kalten Tiefenwässer aller Ozeane ganz überwiegend durch Wasser vom antarktischen Schelf gespeist.

Da der antarktische Kontinent an seiner Oberfläche ein Kältegebiet ist, muß man erwarten, daß im Meeresspiegel der Luftdruck über dem Kontinent höher ist als in den subpolaren Breiten. Die vorherrschenden Ostwinde am Rande des Kontinents entsprechen einer solchen Druckzunahme nach Süden. Insofern dieses Hoch auf die Schnee- und Eisbedeckung der Antarktis und nicht einfach auf die geringere Einstrahlung in höheren Breiten oder den dynamisch bedingten Tiefdruck der subpolaren Breiten zurückzuführen ist, kann man von einer „glazialen Antizyklone“ sprechen. Eine so aufgefaßte glaziale Antizyklone würde allerdings von dem winterlichen Hochdruckgebiet Innerasiens kaum verschieden sein. Auch muß man sich darüber klar sein, daß eine solche kalte Antizyklone nur in den bodennahen Schichten auftreten wird. Je niedriger die Temperatur der Atmosphäre ist, um so rascher nimmt der Luftdruck mit der Höhe ab. Über einem kalten Hochdruckgebiet am Boden findet sich also in der Höhe ein relatives Tiefdruckgebiet. Es wäre daher zu erwarten, daß der Südpolarkontinent in größerer Höhe von einem Tiefdruckgebiet überlagert ist. In der freien Atmosphäre sind die Luftdruck- und Windverhältnisse eng gekoppelt; polarem Hochdruck entsprechen Ostwinde, polarem Tiefdruck Westwinde. In der Tat finden sich nun am Rande der Antarktis in Bodennähe im Mittel Winde mit östlicher Komponente, die in größerer Höhe von Winden aus westlichen Richtungen abgelöst werden. Dieser Richtungswechsel war schon früher aus dem Wolkenzug festgestellt worden, und *Meinardus* hat mit Nachdruck auf ihn hingewie-

sen. Die Pilotballone von Little America und Martinhafen zeigen den Umschlag der Richtung in etwa 2 km Höhe\*.

*Meinardus* hat auf Grund dieser Überlegungen mit besonderem Nachdruck die Ansicht verfochten (42, S. 276; 43, S. 35), daß eine hochreichende glaziale Antizyklone, wie *Hobbs* sie über dem Innern von Inlandeisen annimmt, nicht besteht. *Hobbs* stützt seine Annahme vor allem auf die Tatsache, daß der Wind mit großer Beständigkeit und vielfach erheblicher Stärke vom Innern

Es muß betont werden, daß sich *Defants* Erörterung nur auf den Druckgradienten bezieht, der durch die kalte Luftmasse selbst hervorgerufen wird. Es ist natürlich durchaus möglich, daß die Massenverteilung oberhalb der Kaltluft dem durch die Kaltluft selbst hervorgerufenen einen anderen Druckgradienten überlagert. Dieser aufgeprägte Druckgradient kann den Abflußwind über das durch seine eigenen Lagerungsverhältnisse bedingte Maß verstärken oder ihn abschwächen, ja kann ihn bei hinreichendem Druckgefälle

		Resultierende Windrichtung und -stärke (m/s)												
Oberfläche		600 m			1500 m			3000 m			5000 m		9000 m	
Little America	So	SE	2,0	SE	2,1	SzE	2,0	WzS	1,4	WzN	4,0	WNW	2,6	
	Wi	SSE	1,2	S	1,9	SzW	2,8	WNW	1,2	W	2,3			
Martinhafen	So	SE	12,7	EzE	4,9	SE	2,8	SW	4,9	SWzW	8,4	WzN	13,9	
	Wi	SE	6,2	ESE	3,7	SWzS	3,6	SWzW	9,9	W	14,6	WzS	18,4	

(Anzahl der Flüge in 0 m und 9000 m bzw. 5000 m: Little America So 319, 48; Wi 263, 48; Martinhafen So 225, 50; Wi 102, 8)

eines Inlandeises gegen die Küste weht. Das beste Beispiel dieser Inlandeiswinde findet sich in der Antarktis um 140° E, wie die Tabelle auf Seite 2 zeigt. Ob diese Winde, wie *Hobbs* annimmt, auf eine entsprechende Luftdruckverteilung deuten oder ob der Abfluß unter dem Einfluß der Schwere erfolgt, ist allerdings mehr von meteorologischem als von geographischem Interesse. Bei der Erörterung der Frage muß man zunächst unterscheiden zwischen Luftdruckunterschieden, die durch das Vorhandensein der Kaltluftschicht selbst hervorgerufen werden, und solchen Unterschieden, die von dem überlagernden Druckfeld herühren. *Defant* hat die Frage vor 20 Jahren einer theoretischen Betrachtung unterworfen (17). Er findet, daß der Abfluß der Kaltluft allein unter Schwereeinfluß erfolgt, wenn die Kaltluftschicht längs des Abhangs dieselbe Dicke besitzt. In diesem Falle tragen Druckdifferenzen, die durch das Vorhandensein der Kaltluft hervorgerufen werden, zum Abfluß nichts bei. Nimmt die Dicke der abfließenden Kaltluft nach außen ab, so wirken Schwere und Druckgradient der Kaltluft zusammen, den Abfluß zu beschleunigen. Nimmt andererseits die Kaltluftschicht nach außen an Dicke zu, so wirkt der Druck der Kaltluft verzögernd auf den Abfluß. Wie die Dicke der Kaltluft sich tatsächlich vom Innern zum Rande des Inlandeises ändert, dürfte noch nicht bekannt sein; es ist daher auch noch nicht festzustellen, wieweit der Abfluß der Kaltluft allein unter Schwere oder mit unter Druckgradieneinfluß erfolgt.

in der Höhe vom Rande zum Innern des Inlandeises ganz zum Verschwinden bringen. Es kann daher nicht überraschen, daß der Schwerewind nur gelegentlich auftritt oder daß er in Gegenden, wo er eine regelmäßige Erscheinung von großer Beständigkeit ist, wenigstens zeitweilig aussetzt (37). Es muß natürlich auch in Betracht gezogen werden, daß eine Überflutung des Inlandeises mit warmer Luft aus niedrigeren Breiten die Kaltluftschicht des Inlandeises zeitweilig völlig beseitigen kann. Solche Warmluft ist außerdem meist mit starker Bewölkung verbunden, die eine Neubildung der Kaltluftschicht durch Ausstrahlung hintanhält. Jedenfalls ist es nicht zwingend, wie *Hobbs* es will, aus dem Schwerewind auf ein ständiges hochreichendes Hochdruckgebiet im Innern des antarktischen Inlandeises zu schließen. Auch die fast immer rasche Abnahme des Abflußwindes mit der Höhe deutet darauf, daß meist die Schwerkraftwirkung für ihn maßgebend ist.

Des weiteren besteht eine Meinungsverschiedenheit zwischen *Meinardus* einerseits, *Simpson* (67) und *Barkow* (6a) andererseits bezüglich der Druckverteilung an der Oberfläche in den höheren Teilen des Inlandeises. *Meinardus* glaubt, daß die Luftdruckabnahme nach Süden, die durch die Kälte der hochpolaren Atmosphäre hervorgerufen wird, in der Höhe des Inlandeises (2000 bis 3000 m) bereits ein Tiefdruckgebiet erzwingt. *Barkow* und *Simpson* weisen demgegenüber darauf hin, daß das Vorhandensein der Kaltluftschicht über dem Inlandeis eine Tendenz zu höherem Druck als in gleicher Höhe außerhalb der Antarktis bedeutet, die dem Tiefdruck der Kaltluft in der Höhe darüber entgegenwirkt. Die aus der Antarktis vorliegenden Beobachtungen sind noch

\* Doch weist *Grimminger* an Hand der zahlreichen Messungen des Höhenwindes aus Wolkenzug und durch Pilotballone die schlechte Übereinstimmung zwischen den beiden Methoden nach. (27, S. 91).

nicht hinreichend, diese Frage zu entscheiden; dafür wäre eine Inlandeisstation von genau bestimmter Höhe nötig. Die Windbeobachtungen vom Rande der Antarktis zeigen, daß dort im Mittel von 2 bis 3 km Höhe ab der Druck ins Innere der Antarktis abnimmt; doch sind die Beobachtungsstellen noch mehrere hundert Kilometer von den Stellen entfernt, an denen das Inlandeis selbst diese Höhe erreicht, und der Schluß auf die Druckverhältnisse auf dem Inlandeis ist daher nicht zwingend. Es können natürlich auch jahreszeitliche Unterschiede bestehen, und daß das Hochdruckgebiet über dem Inlandeis keine Dauererscheinung ist, unterliegt keinem Zweifel.

Man könnte zur Entscheidung der Frage der glazialen Antizyklone die Verhältnisse über Grönland heranziehen. Hier ist die Höhe der Station „Eismitte II“ ( $70^{\circ} 54' N$ ,  $40^{\circ} 42' W$ ,  $2993 \pm 1m$ ) genau bekannt, und der dort gemessene Luftdruck (22) kann mit dem außerhalb des Inlandeises über der Baffinbucht gemessenen mit Hilfe der grönländischen Radiosondenstationen verglichen werden. Eine vorläufige Berechnung gibt einen Überdruck von 2—3 mb für Eismitte II. (Der von *Cailleux* (8) angegebene Wert von 10 mb ist zweifellos zu hoch). Es besteht also eine schwache Neigung zu höherem Druck über dem Inlandeis Grönlands. Aber der Druckunterschied ist wohl nicht höher als er in diesen Breiten in jedem Falle zwischen Land und See zu erwarten wäre. Die Eisbedeckung spielt also für die Druckverteilung kaum eine Rolle; d. h. es besteht über Grönland keine ausgesprochene „glaziale Antizyklone“. Der vom Inlandeis wehende Wind ist ein Schwerewind gleich dem Gletscherwind der außerpolearen Gebirge, an dem die allgemeine Druckverteilung nicht maßgebend beteiligt ist. Es ist wohl zulässig, diesen Schluß auch auf die Antarktis auszudehnen.

## II. Zum Massenhaushalt des Inlandeises

Übersteigt der häufig vom Innern des Inlandeises her wehende Wind eine Stärke von etwa 6 m/s, so beginnt er bei Vorhandensein lockeren Schnees diesen in Bewegung zu setzen und als „Fegschnee“ von den höheren in die tieferen Teile des Inlandeises und gegebenenfalls einen Teil über den Rand des Inlandeises hinaus zu tragen. Über die Bedeutung des Fegschnees für den Massenhaushalt von Inlandeisen haben sich Meinungsverschiedenheiten ergeben (76, 35), die z. T. auf die verschiedenen Windstärken in verschiedenen Teilen der Inlandeise zurückgeführt werden können. Festzuhalten ist, was der Augenschein aufs klarste zeigt, daß mit zunehmender Windgeschwindigkeit die verfrachtete Menge sehr stark zunimmt. Für Sand, dessen Bewegungsart

allerdings nicht der des Schnees entspricht, findet *Bagnold* eine Zunahme der transportierten Menge mit der dritten Potenz der „wirksamen Windgeschwindigkeit“, d. h. des Betrages, um den der wirkliche Wind den Grenzwert für den Beginn der Sanddrift übersteigt (4, 5). Für den Schneetransport ist eine höhere Potenz wahrscheinlich. Weiter ist zu beachten, daß die Windgeschwindigkeit und damit die Turbulenz mit der Höhe zunimmt. Die Teilchen, die einmal über eine gewisse Höhe hinausgelangen, können somit leicht in größere Höhen gewirbelt werden (64). Das ist für die leichteren Schneeteilchen eher möglich als für den schwereren Sand. Ob die Geschiebeführung in Flüssen zum Vergleich herangezogen werden kann, mag dahingestellt bleiben; sie scheint etwa mit der fünften Potenz der Wassergeschwindigkeit zu steigen (35).

Messungen der Fegschneemenge sind in der Antarktis zuerst von *Mawson* im Übersturmklima von König-George-V-Land ausgeführt worden. Nach der Art der Beobachtungen — Auffangen des Fegschnees in einem viereckigen Kasten mit kleiner dem Wind zugewandter Öffnung — kann es sich dabei nur um Mindestwerte handeln. Trotzdem ergab sich hier in einer Höhe von 75 cm über dem Boden eine vorbeitransportierte Jahresmenge, die einer Wassersäule von 1900 m entspricht. *Meinardus* erschien der Wert so unwahrscheinlich, daß er ihn durch 1900 mm ersetzte (43, S. 60). Weitere Messungen des Fegschnees, z. T. in verschiedenen Höhen, wurden 1951 während der Überwinterung in Martinhafen von Kapitänleutnant *Michel Barré* und dem Verfasser ausgeführt. Die Ergebnisse der Messungen werden im einzelnen an anderer Stelle veröffentlicht werden. Sie ergeben, daß bei einer Windgeschwindigkeit von 35 m/s in jeder Sekunde etwa 8 kg Treibschnee durch den Schwerewind über jeden Meter Küstenlänge verfrachtet werden, d. h. pro Stunde etwa 30 t. Da diese Orkangeschwindigkeit im Jahre 1951 während 850 Stunden erreicht oder überschritten wurde, ergibt sich für die Orkanzeit allein ein Schneetransport von 25 Millionen Tonnen über jeden Kilometer der Küste. Nimmt man für die übrigen 4000 Stunden mit Schneefegen bei schwächerem Wind nochmals denselben Schneetransport an, so werden etwa 50 Millionen Tonnen im Jahr vom Inlandeis über jeden Kilometer der Küste aufs Meer verfrachtet, ein phantastisch scheinender Betrag, der aber mit früheren Schätzungen *Madigans* (37 a, S. 51, 36) auf Grund der Beobachtungen in Kap Denison gut übereinstimmt. Auch 70 Jahre alte Messungen von *Andrée* (3 b) führen auf eine ähnliche Größenordnung.

Setzt man für die küstennahen Teile des Inlandeises von Adélieland einen mittleren Nieder-



schlag von 30 cm Wasser an, gleich dem im Innern Grönlands gemessenen Zuwachs (70, 71), so würde auf eine Entfernung von 300 km von der Küste die Hälfte des Niederschlags durch den Wind entfernt werden. Das Schneefegen spielt also im Massenhaushalt von Adélieland (oder Gegenden ähnlichen Klimas) eine erhebliche Rolle, hinter der die dortige Abfuhr durch Eisbergbildung bei einer Eisdicke von 150 und einer Jahresgeschwindigkeit von 20 m weit zurückbleibt. Natürlich dürfen diese Ergebnisse nicht auf alle Teile der Antarktis ausgedehnt werden; die Verhältnisse um 140° E sind nach Stärke und Beständigkeit des Schwerwindes noch ohne Gegenstück. Doch gibt es noch andere Stellen, an denen wenigstens im Winter Tag für Tag Sturm vom Inlandeis aufzutreten scheint, z. B. Inexpressible-Insel mit ihrem bezeichnenden Namen (54 a). Auch möchte ich die Vermutung äußern, daß die ausgedehnten eisfreien Gebiete, die an verschiedenen Stellen der Antarktis gefunden worden sind, ihren Zustand im wesentlichen der Entfernung des Schnees durch heftige Winde verdanken, [z. B. Dry Valley, Westseite McMurdosund (15); Bunger Oase, Knox-Küste (7 a, 1 a); Schirmacher-Seenplatte, Königin-Maud-Land (58, S. 133)].

Über die Ernährungsbedingungen des antarktischen Inlandeises sind wir überhaupt noch sehr im unklaren, während wir für Grönland bereits wesentliche Anhaltspunkte besitzen. Die Schwierigkeiten der Messung des Schneeniederschlags haben viele Expeditionen veranlaßt, darauf von vornherein zu verzichten. In einem Klima wie dem von Adélieland ist jeder Versuch von vornherein hoffnungslos. Bei der Bestimmung des Massenhaushalts sind wir jedoch an und für sich nicht am Niederschlag interessiert, sondern nur an Zuwachs und Abtrag, die außer vom Niederschlag auch von der Verdunstung und Reifbildung, von Schmelzung und Abfluß (der jedoch auf dem antarktischen Inlandeis fast überall unbedeutend ist), von der Eisbergbildung und von Zufuhr und Abfuhr durch Schneefegen abhängen.

Zuwachs und Abtrag lassen sich unschwierig an Schneepegeln messen; das Hauptproblem besteht in windigen Gegenden darin, zu entscheiden, inwieweit die einzelnen Messungen örtlich und zeitlich als kennzeichnend betrachtet werden können. Pegelmessungen sind auf dem Ross-Schelfeis nahe Little America und in großem Umfange in Königin-Maud-Land vorgenommen worden. In Übereinstimmung mit früheren Messungen (16, 43, S. 41) ergab sich 1940 in Little America ein Jahreszuwachs von etwa 30 cm Wasserwert (75); die Mittelwerte für 1940—46 (31) stimmen damit gut überein. Doch ist Poulter der Meinung, daß der Zuwachs mit der Entfernung vom offenen Meer schnell abnimmt und in 150

und mehr Kilometern Küstenabstand nur einen kleinen Bruchteil des Zuwachses nahe dem Rande ausmacht (53, 25). Das würde mit den sehr geringen Niederschlägen in Übereinstimmung stehen, die auf den Inseln des kanadischen Kontinents in polar-kontinentalem Klima gefunden worden sind (Eureka Sund 80° N, 86° W 5 cm Jahresmittel) (56). Die Beobachtungen an Pegeln auf dem Königin-Maud-Schelfeis geben in Küstennähe ähnliche Werte wie in Little America (Maudheim 38 cm Wasser jährlich) (66). Während sich in Aufgrabungen auf dem Ross-Schelfeis keine Jahresschichtung des Firns feststellen ließ (54), konnte in Maudheim der mittlere Jahreszuwachs für 1939—49 auf diese Weise zu 38 cm Wasser bestimmt werden (62). Da die Ergebnisse der Beobachtungen auf dem Inlandeise von Königin-Maud-Land (66) noch nicht bekannt sind, liegen kaum Angaben über den Zuwachs des Inlandeises vor. In Adélieland ergaben Pegelmessungen in 21 km Küstenabstand und 600 m Meereshöhe einen Jahreszuwachs von 45 cm Schnee, in 40 km Abstand und 900 m 35 cm. Das entspricht Wasserwerten von etwa 18 und 14 cm. Die Zerschneidung der Oberfläche durch das Schneefegen macht es aber in diesem Teil der Antarktis sehr schwierig, für einen kürzeren Zeitraum als mehrere Jahre kennzeichnende Zuwachswerte zu bestimmen. Auch ließ sich in diesem Gebiet infolge der häufigen Umlagerung des Schnees in Aufgrabungen keine Jahresschichtung feststellen.

### III. Zur Kenntnis der Schelfeise

#### 1. Höhe

Ein beträchtlicher Teil der Überwinterungen in der Antarktis hat auf Schelfeisen stattgefunden (Walfischbucht, Ross-Schelfeis, 1911, 1929, 1934, 1940; Shackleton-Schelfeis, Königin-Mary-Land, 1912; Königin-Maud-Schelfeis 1950—51), so daß ihre Probleme besondere Beachtung gefunden haben. Schelfeise umrahmen einen großen Teil der Antarktis, wie namentlich durch die Überfliegungen und Luftaufnahmen der „Operation Highjump“ (7 a, 62 a) und „Operation Windmill“ (49) festgestellt wurde. 1912 hatte Filchner als südlichen Abschluß der Weddellsee das nach ihm benannte Schelfeis gefunden; die westliche Fortsetzung (Lassiter-Schelfeis) bis zum Anschluß an die Ostküste von Grahamland (75° S, 60° W) ist von Flugzeugen der Expedition Ronnes überflogen worden (61). Wie weit sich das Filchner- und Lassiter-Schelfeis nach Süden erstreckt, ist noch unbekannt. Ronnes Mitteilung, daß das letztere von seinem Nordrande an merklich nach Süden ansteigt, läßt übrigens Zweifel aufkommen, ob es sich um ein eigentliches Schelfeis han-

delt. Das die Ostküste von Grahamland begleitende Larsen-Schelfeis ist kürzlich von *Mason* beschrieben worden (38).

Die eingehenden Untersuchungen des Ross-Schelfeises von Little America aus (53, 54) haben ergeben, daß das Eis teils schwimmt, teils auf dem Grunde ruht.  $\frac{1}{6}$  bis  $\frac{1}{8}$  der Dicke befinden sich über Wasser. Auch das Schelfeis von Königin-Maud-Land ist stellenweise an Untiefen verankert; hier ragt mehr als  $\frac{1}{5}$  über den Meeresspiegel (60). An der Bollingbasis, 200 km vom Rande, ruht das 175 m dicke Eis des Ross-Schelfeis auf dem 90 m unter dem Meeresspiegel liegenden Grund. Diese Messungen sind mit seismischen Mitteln ausgeführt worden, die sich aufs beste bewährt haben.

Das Ross-Schelfeis ist nahe dem Rande durch kräftige Schmelzung an der Unterfläche dünner als weiter südlich (54); daher liegt die Randzone niedrig. Weiter einwärts folgt ein Streifen, in dem sich häufig Reif aus der wärmeren feuchten Luft von der offenen See her niederschlägt; daher ist in diesem Bereich das Eis einige Meter höher. Weiter im Innern bleibt, wie schon auf den britischen Expeditionen zu Beginn des Jahrhunderts festgestellt, das Ross-Schelfeis sehr eben mit einer Höhe von 50—100 m über dem Meeresspiegel; an einzelnen Stellen, wo es Erhebungen des Meeresbodens oder sogar Inseln bedeckt, ragt es höher empor. Wo das Ross-Schelfeis an die Gebirge stößt, scheint seine Höhe über dem Meere und vermutlich seine Dicke etwas geringer zu sein (25, 53). Das ist wohl durch die Entfernung des frischen Schnees und die Verdunstung durch die Fallwinde aus den benachbarten Gletschertälern, und durch die Erosion durch den Fegschnee zu erklären. So tritt an diesen Stellen vielfach an der Oberfläche blankes Eis auf, während sonst die Oberfläche der Schelfeise aus Firn oder Schnee besteht. (In diesem Zusammenhange sei darauf hingewiesen, daß es sich bei den vielbesprochenen [58 S. 130, 2] „Hochseen“ des Neuschwabenland-Gebirges nach den Beobachtungen der Königin-Maud-Land-Expedition wohl gar nicht um Schmelzwasserbildungen handelt, sondern um solche freigeblasenen und vielfach durch Fegschnee-Erosion vertieften Stellen. Schlüsse auf rezente Klimaänderungen lassen sich also daraus nicht ziehen [58, S. 20]).

## 2. Dicke

Die Dicke des Schelfeises konnte früher nur am Rande annähernd durch Messung der über dem Meeresspiegel befindlichen Teile bestimmt werden. Nunmehr ermöglichen seismische Auslotungen eine flächenhafte Aufnahme, die gleichzeitig Schlüsse auf die Struktur des Schelfeises und des Untergrundes gestattet. In der Umgebung von

Little America ergibt sich die mittlere Eisdicke zu 230 m, die größte Dicke zu etwa 300 m (53, 54). Das Königin-Maud-Schelfeis hat eine Dicke von knapp 200 m (60). In Maudheim ließ sich unabhängig davon unter der Annahme des Tauchgleichgewichts die Eisdicke aus der bekannten Meereshöhe und der senkrechten Dichteverteilung ermitteln (66). Die so gefundene Dicke stimmt mit der seismisch bestimmten völlig überein, was das Zutrauen zur Deutung der Sprengkurven erhöht. (Auf die Eisdickenmessungen, die in Königin-Maud-Land selbst bis zu einer Meereshöhe von 2700 m und einem Küstenabstand von 600 Kilometer durchgeführt wurden und die über einem sehr gebirgigen Untergrund Eisdicken bis zu 2400 m ergeben haben, sei besonders hingewiesen [60, 62]. Noch 250 km vom Innenrande des Schelfeises deckt das an der Oberfläche 1500 m hohe Eis der Penckmulde eine 700 m tiefe fjordartige Talung [59, 60].)

## 3. Schichtung

Die seismischen Messungen gestatten, nicht nur die Dicke des Eises selbst, sondern auch die Schichtung und Zusammensetzung des Untergrundes zu bestimmen. *Poulter* konnte so für 600 qkm in der Umgebung von Little America eine Karte mit Höhenlinien des Untergrundes entwerfen (53). Das Eis liegt danach südwärts von etwa 20 km Randabstand dem Grunde auf. Der Felsboden ist fast lückenlos von einem dicken Moränenmantel bedeckt (54). Die Moräne, deren seismische Eigenschaften auch eine Schichtung andeuten, hat, wo das Eis sie berührt, eine Dicke von 400 m. Auch auf dem Schelfeis von Königin-Maud-Land sind im Rahmen eines ausgedehnten seismischen Programms solche Messungen vorgenommen worden. Sie führen, im Gegensatz zu *Poulter*, zu dem Ergebnis, daß das Schelfeis hier in über 100 km Breite fast ganz frei auf dem Meere schwimmt (60, S. 208). Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erschütterungswellen in dem Medium unterhalb des Eises ist hier gleich der in Wasser.

Weiter findet *Poulter* eine deutliche Reflexion der Erschütterungswellen in Meeresspiegelhöhe und darunter eine Geschwindigkeit wie in Wasser (54). Er schließt daraus, daß das Schelfeis bis zum Meeresspiegel wassergetränkt ist. Trifft diese Deutung der Registrierungen zu, so sollte man erwarten, daß die von der Front losgelösten Eisberge in der Höhe des Wasserspiegels eine Strukturänderung zeigen. In der Tat weist *Debenham* darauf hin, daß eine solche Änderung in 10 bis 20 m Abstand von der Oberfläche der Eisberge häufiger zu beobachten ist (16). Aber diese Unterschiede sind doch wohl bei Bergen, die von Schelfeisen stammen, nicht allgemein vorhanden; auch dürfte schwer zu entscheiden sein,

ob es sich nicht um eine oberflächliche Wirkung des von außen umspülenden Wassers handelt. Besonders aber gibt zu denken, daß die Temperaturen in einem 41 m tiefen Bohrloch in Little America, das bis 10 m unter den Meeresspiegel reicht, nicht höher als  $-22^{\circ}$  sind (11, 75), was Wassertränkung bis zu dieser Höhe wohl ausschließt.

Nach vorläufigen Berichten der Norwegisch-Britisch-Schwedischen Expedition nimmt die Dichte des Schelfeises von Königin-Maud-Land von 0,5 nahe der Oberfläche auf 0,82 in 60 m Tiefe zu, wo ungefähr der Übergang von luftdurchlässigem Firn zum Eis angesetzt werden kann (60, 62). Von dort ab nähert sich die Dichte allmählich der des reinen Eises. Von einer Wassertränkung des Schelfeises wird hier nichts erwähnt. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der durch die Sprengungen hervorgerufenen Longitudinalwellen (3800 m/s) ist bis zur Unterfläche des Eises. Die Temperatur ist noch 60 m unterhalb des Meeresspiegels  $-17^{\circ}$ , so daß auch hier *Poulter's* Meinung über die Wassertränkung des Schelfeises Zweifeln begegnet.

In den Schelfeisen der Antarktis geht der anfallende Schnee ohne den Einfluß der Schmelzung allein durch Zusammendrückung und Umkristallisierung in Eis über. Beobachtungen in Little America (31) zeigen, daß innerhalb von 7 Jahren eine ursprünglich 4 m dicke Schicht in 0,5 bis 4,5 m Tiefe auf  $3\frac{1}{4}$  m zusammengedrückt worden ist. Eingehende Studien über die Strukturänderung des Firns sind in Tiefbohrungen in Königin-Maud-Land ausgeführt worden. Hier nimmt die Kristallgröße von 0,5 qmm in 5 m Tiefe auf etwa 10 qmm in 100 m zu (66). (Die Werte in (60) stimmen damit nicht sehr gut überein.) Sowohl die Dichte wie Korngröße wachsen bei Verdoppelung der Tiefe jeweils um den gleichen Betrag. Die Umkristallisierung von Schnee über Firn zu Eis scheint also im Schelfeis von Königin-Maud-Land in stetiger Weise zu erfolgen. Allerdings berichtet *Poulter* im Gegensatz zu *Robin* (60) von erheblichen Spannungen im Ross-Schelfeis. Durch Belastung oder Explosion wurden dort sich weithin verbreitende Schneebenen ausgelöst (53, 54), wie sie auch vom Innern von Inlandeisen bekannt sind (60).

#### 4. Ernährung

Eng mit der Frage der Struktur des Schelfeises ist die seiner Ernährung verbunden. Es ist zu bestimmen, wieviel durch die Eisbewegung aus benachbartem Landeis beigetragen wird und wieviel vom Zuwachs des Schelfeises selbst herrührt. Die Entscheidung kann getroffen werden, wenn Zuwachs und Abtrag des Schelfeises, seine Geschwindigkeit und seine Dicke bekannt sind. Über

alle diese Werte haben die Messungen der letzten Jahre neue Anhaltspunkte ergeben. Die Dicke ist im Nordteil des Ross-Schelfeises und in Königin-Maud-Land durch seismische Messungen einigermaßen festgestellt. Über den Zuwachs am Außenrande der Schelfeise von Königin-Maud-Land und Rossmeer liegen einige Messungen vor. Die Werte des Zuwachses auf dem Schelfeis von Königin-Maud-Land selbst sind allerdings noch nicht veröffentlicht.

Diese Messungen beziehen sich auf den Zuwachs von oben. Die Masse des Schelfeises kann jedoch auch an der Unterseite durch Schmelzung verringert oder durch Gefrieren vergrößert werden. *Poulter* (53) und *Wade* (75) nehmen unter dem Ross-Schelfeis überwiegende Abschmelzung an; *Poulter* erklärt auf diese Weise, daß der im Tauchgleichgewicht befindliche Außenrand, an dem die Abschmelzung am größten ist, einige Meter tiefer liegt als die Eisoberfläche einige Kilometer einwärts. Über den Betrag dieser Abschmelzung lassen sich bisher keine Angaben machen. Auch ist zu bedenken, daß die Temperatur des Seewassers neben und wahrscheinlich auch unter dem Schelfeis meist unter  $0^{\circ}$  liegt, so daß an sich kein Anlaß zum Schmelzen vorhanden ist. Weiter kann das nahe an seinem Gefrierpunkt befindliche Wasser nicht leicht die zu erheblichem Schmelzen nötige Wärme abgeben. *Debenham*, einer der Geologen der zweiten Expedition *Scott's*, hat schon 1919 die Ansicht vertreten (14), daß wenigstens stellenweise das schwimmende Küsteneis der Antarktis durch Gefrieren von unten wächst; er kommt 1948 auf diese Auffassung zurück in einer Arbeit (16), in der man eine weite Übersicht über die Verhältnisse des Ross-Schelfeises findet. Er gründet seine Vermutung darauf, daß sich marine Ablagerungen verschiedener Art auf der Oberfläche von Gletschern am Westrande des Ross-Schelfeises finden. Es handelt sich um Muscheln und Schwämme, Glaubersalz und um mehrere auf der Eisoberfläche gefundene Fische, merkwürdigerweise alle ohne Kopf. Diese Vorkommen lassen sich kaum anders erklären, als daß diese Gegenstände am Grunde des Eises eingefroren sind, entweder an Stellen, wo das Eis den Grund berührt, oder indem sie, in Grundeis eingeschlossen, an die Unterfläche des Eises gehoben worden sind. Sie treten an den Fundstellen an der Oberfläche auf, weil an diesen Stellen der oberflächliche Abtrag den Zuwachs überwiegt, so daß im Laufe der Zeit die ehemalige Unterfläche die Oberfläche erreicht. Daß man es an den Fundstellen tatsächlich mit einem Überwiegen des Abtrags zu tun hat, wird durch das gleichzeitige Auftreten langgestreckter Moränenzüge auf dem Eise bewiesen. Auf dem Großteil des Ross-Schelfeises, wo an der Oberfläche der Zuwachs überwiegt,

können diese Einschlüsse nicht sichtbar werden, was aber nicht ausschließt, daß auch dort Eis an der Unterfläche zuwächst. Physikalische Erwägungen von *Simpson* (16, Diskussion) und *Wright* (77a), den Physikern der *Scott-Expedition*, machen solchen Zuwachs von unten in Teilen des Schelfeises wahrscheinlich. Im einzelnen bedarf die Frage des Schmelzens und Gefrierens an der Unterfläche ausgedehnter Schelfeise noch weiteren Studiums; das Hauptproblem liegt im Schicksal der bei diesen Zustandsänderungen auftretenden Wärmemengen. An Stellen, oberhalb deren diese Aufwärtswanderung stattgefunden hat, könnten bei Verschwinden des Eises Muschelablagerungen über dem damaligen Meeresspiegel zurückbleiben; die Möglichkeit wäre beim Studium eiszeitlicher Verhältnisse im Auge zu behalten (16).

### 5. Bewegung

Es darf als sicher hingestellt werden, daß auf dem größten Teil der Schelfeise der Zuwachs von oben, und möglicherweise auch von unten, den Abtrag übertrifft. Soll unter diesen Umständen Masse und Höhe des Schelfeises zeitlich unverändert bleiben, so muß der Überschuß entfernt werden. Das geschieht durch die Bewegung des Eises, durch Abfluß und Eisbergbildung. Betrag und Richtung der Eisbewegung haben sich neuerdings an vielen Stellen in der Umgebung von *Little America* feststellen lassen. *Poulter* gibt eine Karte der Verschiebungen von 1929 bis 1934 (53), die weitere bis 1948 ist einer Skizze von *Siple* zu entnehmen (49). Die Feststellungen beruhen auf genauen astronomischen Lagebestimmungen von *Little America*, an die eine Triangulation von Pegeln angeschlossen ist, die 1929 gesetzt und in späteren Jahren wieder eingemessen wurden. In Übereinstimmung mit Messungen der Frontverschiebung des Schelfeises ergeben sich erhebliche Beträge der Eisbewegung. *Poulter* findet eine Bewegung des Eisrandes von 3—4 m täglich, d. h. über einen Kilometer im Jahr. Die Geschwindigkeit nimmt von der schwimmenden Randzone ins Innere ab. Südlich von *Little America* hemmt eine eisbedeckte Insel die Bewegung; die *Rooseveltinsel* wurde, schon früher vermutet, durch seismische Messungen festgestellt. Die *Wal-fischbucht* des Schelfeises verdankt ihre Entstehung und wahrscheinlich dauernde Existenz ihrer Lage auf der Leeseite der eisbedeckten Insel. Sie umfließend bewegt sich das Eis westlich der Bucht mit etwa 2 m pro Tag nordwärts, östlich der Bucht mit 2½ bis 3 m täglich nach Westen. Das erklärt die fortdauernde Verengung der Bucht seit *Amund-sens* Besuch 1911. Damals war die Bucht am Eingang etwa 14 km breit (3a, Bd. 2 S. 350), 1929 war sie erheblich enger und hat sich weiter so ver-

engert (69a), daß sie im Jahre 1947 fast geschlossen gefunden wurde (49). *Poulter* meint, daß das nordwärts fließende Eis der Westseite das von Osten vordringende Eis in einem großen Stück mit sich nehmen wird, so daß sich eine neue *Wal-fischbucht* bildet (53 S. 374). (Unverständlich und unaufgeklärt ist bei dieser Sachlage eine Bemerkung des wissenschaftlichen Leiters von *Little America III*, [1940], (75), das *Ross-Schelfeis* habe eine Bewegung von nur einigen Fuß im Jahre.)

Auf dem Schelfeis von *Königin-Maud-Land* ist die absolute Bewegung nicht bekannt, da kein Anschluß an das 200 km entfernte Festland gewonnen werden konnte. Für astronomische Bestimmungen war wahrscheinlich die Verschiebung innerhalb von knapp zwei Jahren zu gering. Dagegen wurden Pegel, die über eine 25 qkm große Fläche in der Nähe von *Maudheim* verteilt waren, wiederholt genau eingemessen, um die Relativbewegungen innerhalb des Schelfeises festzulegen. Unter seinem Eigengewicht dehnte sich das Schelfeis aus, am stärksten in der Nähe seines Abbruchs in die See und „parallel zum Rande“ (62, S. 15), wo die Dehnung etwa 1½ m pro Kilometer und Jahr betrug. (Es wäre überraschend, wenn die Dehnung wirklich parallel, und nicht senkrecht zum schwimmenden Rande am größten wäre; eine eingehendere Darstellung muß abgewartet werden.) Wie eine genaue Höhenbestimmung vom Rande des Schelfeises über 2½ km landeinwärts zeigte, hatte sich trotz einer Schneeeablagerung von über einem Meter in 21 Monaten die Höhe über dem Meeresspiegel nicht mehr als 2 cm verändert (62); daraus ergibt sich, daß zwischen Zuwachs, Abtrag und Dehnung des Schelfeises ein genaues Gleichgewicht besteht. Die Gleichgewichtsdicke ist in *Königin-Maud-Land* etwa 190 m; man darf angesichts der einheitlichen Temperatur des Meeres vermuten, daß andere Schelfeise nicht wesentlich andere Gleichgewichtsdicken haben. Wir können mit Spannung den weiteren Ergebnissen der *Norwegisch-Britisch-Schwedischen Expedition* entgegensehen, die in vieler Beziehung die Kenntnis der antarktischen Eisdecke auf eine neue Grundlage stellen wird und die insbesondere die ersten systematischen und umfassenden Messungen vom Innern der Antarktis gewonnen hat.

### Schlusbetrachtungen

Die wissenschaftliche Antarktisforschung ist in eine Periode bedeutender Erweiterung ihrer Aufgaben eingetreten. Die topographische Festlegung der Oberfläche, die Grundlage weiterer Forschung, hat nun im Flugzeug ein alle anderen übertreffendes erprobtes Mittel zur Verfügung. Doch hat sich bei den Luftaufnahmen der Schwa-

benlandexpedition ebenso wie bei denen der Operation „Highjump“ gezeigt, daß die Zahl der vorhandenen Festpunkte vielfach zur genauen Auswertung der Lichtbilder zu gering war. Auch die Höhenbestimmungen vom Flugzeug aus haben sich häufig als unerwartet ungenau erwiesen. Das gilt auch von den von der Schwabenlandexpedition gemeldeten Berg- und Inlandeishöhen bis über 4000 m (58, S. 293), die um mindestens 1000 m zu verringern sind (60). Mechanische Transportmittel an der Oberfläche, wie Raupenschlepper, in vieler Beziehung dem Flugzeug vorzuziehen, erleichtern die Errichtung von Inlandeisstationen, den Transport schwerer und empfindlicher Instrumente und Leben und Arbeit der Expeditionsmitglieder. Das Eis, der maßgebende Baustoff des antarktischen Kontinents, ist in seinen verschiedenen Erscheinungsformen in den Mittelpunkt des Interesses gerückt; hierin hat die Expedition nach Königin-Maud-Land eine neue Epoche der Antarktischforschung eröffnet. Seismische und Schwermessungen dehnen die Kenntnisse auf die Eistiefen und den Untergrund aus; Radiosonden, Radar- und Radiowindmessungen und Studien der Ionosphäre geben Aufschlüsse bis in große Höhen. Das Gesamtgebiet um den Südpol steht nunmehr diesen Studien offen. Wenn es sich auch nicht vermeiden läßt, daß der umfassend wirkende Forschungsreisende alten Schlags mehr und mehr von Spezialisten abgelöst wird, so werden doch auf diese Weise die Bausteine zur Kenntnis des letztentdeckten und menschenfeindlichsten Kontinents zusammengetragen. *Wilhelm Meinardus*, der mit der Südpolarforschung seit ihrer Neubelebung zu Anfang dieses Jahrhunderts eng verbunden war, hat bis in seine letzten Tage den Beginn der Epoche, an deren Anfang wir stehen, mit dem lebhaftesten Interesse verfolgt. Es bleibt zu hoffen, daß ihre Ergebnisse eine ebenso umfassende und erschöpfende Auswertung finden werden, wie die vorangehende Periode sie in vielen Richtungen *Meinardus* zu verdanken hat.

#### Literatur:

1. Aerological Observations and Summaries for the Antarctic. Chief of Naval Operations. NAVAER 50- IR-214. Washington 1947 (beachte Nr. 29).
- 1a. Aerology. Second Antarctic Development Project 1947-48. NAVAER 50-54 T-10. Washington 1948.
2. *Ablmann, H. W.*: Nutidens Antarktis och Istidens Skandinavien. Geol. För. Stockholm Förhandlingar, 66, 1944 S. 635.
3. *Albrecht, F.*: Untersuchungen über den Wärmehaushalt in verschiedenen Klimagebieten. Wiss. Abh. Reichsanst. für Wetterdienst. Bd. 8. Nr. 2. 1940.
- 3a. *Amundsen, R.*: The South Pole. 1912.
- 3b. *Andrée, S. A.*: Om yrsnön i de arktiska trakterna. Öfversigt af Kong. Vetenskaps Akad. Förhandlingar 1883, Nr. 9. S. 33.
4. *Bagnold, R. A.*: The Physics of Blown Sand and Desert Dunes. London 1941. S. 75.
5. *Bagnold, R. A.*: Sand Formations in Southern Arabia. Geogr. Journal 117, 1951, S. 86.
6. *Bagshawe, T. W.*: Two Men in the Antarctic. Cambridge 1939.
- 6a. *Barkow, E.*: Ergebn. der Met. Beob. d. D. Antarkt. Exp. 1911/12. Veröff. Preuß. Met. Inst. Bd. VII, Nr. 6, 1924.
7. *Byrd, R. E.*: Alone. New York 1938.
- 7a. *Byrd, R. E.*: Our Navy explores Antarctica. Nat. Geogr. Mag. 1947, S. 429.
8. *Cailleux, A.*: Premiers Renseignements Glaciologiques des Expéditions Polaires Françaises 1948-51. Revue de Géomorphologie Dynamique Bd. 3, no. 1, 1952.
9. *Cherry-Garrard, A.*: The Worst Journey in the World. Penguin Books no. 100, 1948.
- 9a. *Christie, E. W. H.*: The Antarctic Problem. London 1951.
10. *Court, A.*: Tropopause Disappearance during the Antarctic Winter. Bull. Am. Met. Soc. 23, 1942, S. 220 bis 238.
11. *Court, A.*: Meteorological Data for Little America III. Monthly Weather Rev., Suppl. 48. Washington 1949.
12. *Court, A.*: Antarctic Atmospheric Circulation. Compendium of Meteorology. 1951, S. 917-941.
13. Datos Climatológicos y Geomagnéticos Islas Orcadas del Sur. Período 1903-1950. Dirección General del Servicio Meteorológico Nacional. Serie B, 1ª Sección 1ª parte, no. 11, 1951.
14. *Debenham, F.*: A New Mode of Transportation by Ice. The Raised Marine Muds of South Victoria Land. Quart. J. Geol. Soc. Bd. 75, 1919, S. 51-76.
15. *Debenham, F.*: Report on the Maps and Surveys. British (Terra Nova) Antarctic expedition. 1923.
16. *Debenham, F.*: The Problem of the Great Ross Barrier. Geogr. J. Bd. 112, 1949, S. 196-218.
17. *Defant, A.*: Der Abfluß schwerer Luftmassen auf geneigtem Boden nebst einigen Bemerkungen zu der Theorie stationärer Luftströme. Sitzber. Preuß. Ak. d. Wiss., Phys.-Math. Klasse XVIII, 1933, S. 624.
18. *Dorsey, H. G.*: Meteorology at East Base of U. S. Antarctic Exp. 1939-41. Bull. Am. Met. Soc. 22, 1941, S. 389.
19. *Dorsey, H. G.*: An Antarctic Mountain Weather Station. Proc. Am. Phil. Soc. Bd. 89, 1945, S. 344.
20. *English, R. A. J.*: Preliminary Account of the U. S. Ant. Exp. 1939-41. Geogr. Rev. 31, 1941, S. 474.
21. Expéditions Polaires Françaises. Campagne au Groenland 1950. Rapports Préliminaires Nr. 15, S. 80.
22. Expéditions Polaires Françaises. Recueil des Observations Météorologiques effectuées par la Station Française du Groenland. Rapports Scientifiques Nr. 12, Nr. 13. Météorologie Nationale, Paris 1950, 1952.
- 22a. Expéditions Polaires Françaises. Expédition en Terre Adélie 1950-52. Rapports Préliminaires Nr. 20, 1953.
- 22b. Expéditions Polaires Françaises. Expédition en Terre Adélie 1949-51. Rapports Préliminaires Nr. 14, 1952.
23. Falkland Islands and Dependencies Meteorological Service. Annual Meteorological Tables. Met. Office 1952.
24. *Gibbs, W. J., Gotley, A. V., Martin, A. R.*: Australian National Antarctic Research Expedition. Scientific Reports. Series D. Bd. I, Teil Ia, 1950 (Fortsetzung Nr. 44).
25. *Gould, L. M.*: The Ross Shelf Ice. Bull. Geol. Soc. of America. Bd. 46, 1935, S. 367-393.
26. *Grimminger, G. and Haines, W. C.*: Meteorological Results of the Byrd Antarctic Expeditions 1928-30, 1933-35. Tables. Monthly Weather Review. Supplement 41. Washington 1939.
27. *Grimminger, G.*: Meteorol. Results of the Byrd Antarctic Exp. Summaries of Data. Monthly Weather Rev., Suppl. 42. Washington 1941.

28. *Haines, W. C.*: Winds of the Antarctic. Trans. Am. Geoph. Union. 13th Annual Meeting 1932. S. 124—128.
29. *Highjump*: Aerological Aspects of Operation Highjump Winter 1946/47. Chief of Naval Operations. NAVAR 50—45T—6. Washington 1947 (beachte Nr. 1).
30. *Hoinkes, H.* und *Untersteiner, N.*: Wärmeumsatz und Ablation auf Alpengletschern I. Geografiska Annaler. 1952, S. 99—158.
31. *Howard, A. D.*: Further Observations on the Ross Shelf Ice, Antarctica. Bull. Geolog. Soc. Amerika. Bd. 59, 1948, S. 919—926.
32. *Kidson, E.*: Discussion of Observations at Adelie Land, Queen Mary Land and Macquarie Island. Australasian Ant. Exp. Scient. Rep. Ser. B. Bd. 6, 1946.
- 32a. *Lamb, H. H.*: Topography and Weather in the Antarctic. Geogr. J. 111, 1948, S. 48.
33. *Lambeth, A. J.*: Heard Island. Geography and Glaciology. Journal and Proc. Royal Soc. of New South Wales, Bd. 74, 1951, S. 92—98.
34. *Lester, M. C.*: An expedition to Graham Land. Geogr. J. 62, 1924, S. 174.
35. *Loewe, F.*: Die Bedeutung des Schneefegens für den Massenhaushalt von Inlandeisen. Met. Zeitsch. 1933. S. 434.
36. *Loewe, F.*: Das Klima von Adélieland und der Macquarieinsel. Met. Zeitschr. 1935, S. 57.
37. *Loewe, F.*: A Note on Katabatic Winds at the Coasts of Adelie Land and King George V Land. Geofisica Pura e Applicata, 16, 1950, S. 159—162.
- 37a. *Madigan, C. T.*: Meteorology of the Cape Denison Station. Australasian Antarctic Expedition 1911—14. Scientific Reports. Series B, Vol. 4, 1929.
38. *Mason, D.*: The Larsen Shelf Ice. J. of Glaciology, Bd. I, S. 409—412, 1950.
39. *Meinardus, W.*: Skizze des Klimas der Heardinsel. D. Südpolarexp. Bd. II, S. 273.
40. *Meinardus, W.*: Über den Wasserhaushalt der Antarktis. Nachr. d. Ges. d. Wiss. Math.-Phys. Kl. Göttingen 1925, S. 23.
41. *Meinardus, W.*: Über den Wasserhaushalt der Antarktis in der Eiszeit. Nachr. d. Ges. d. Wiss. Math.-Phys. Kl. Göttingen 1928, S. 137.
42. *Meinardus, W.*: Die Luftdruckverhältnisse und ihre Wandlungen südlich von 30° Breite. Deutsche Südpolar-expedition. Bd. III, Teil 2.
43. *Meinardus, W.*: Klimakunde der Antarktis. Köppen-Geiger, Handbuch der Klimatologie. Bd. 4, Teil U. Berlin 1938.
44. Meteorological Branch, Melbourne: A. N. A. R. E. Reports Series D. Meteorology, Vol. II, III, IV. Heard and Macquarie Islands, 1949, 1950, 1951. 1953 (s. Nr. 24).
- 44a. *Möller, F.*: Long Wave Radiation. Compendium of Meteorology. 1951.
45. Monthly Climatic Data for the World. U. S. Weather Bureau. Asheville.
46. *Moyes, M. H.*: Records of the Queen Mary Land Station. Australasian Antarctic Exp. 1911—14. Scient. Reports. Ser. B, Bd. 5, Teil 1. Sydney 1939.
47. *Nölke, F.*: Zum Klima der Antarktis in der Eiszeit. Zeitschrift für Gletscherkunde Bd. 20. 1932.
48. Notes. Weather Bureau. Südafrika. Vierteljährlich seit 1952.
49. *Nutt, D. C.*: Second U. S. Navy Antarctic Development Project. Arctic 1, 1948, S. 88.
- 49a. *Palmer, C. E.*: Synoptic Analysis over the Southern Oceans. New Zealand Met. Off. Professional Notes, 1, 1942.
50. *Peterson, H. C.*: Results of the Solar Radiation Project of the Ronne Ant. Res. Exp., Techn. Report 3. Office of Naval Res. Washington 1948.
51. *Peterson, H. C.*: Antarctic Weather Statistics compiled by Ronne Antarctic Research Exp. Office of Naval Res. Navexos P 560. Washington 1948.
52. Polar Record. Bd. 1 (1931) — Ausführliche Schriftumsnachweise seit Nr. 17, 1939.
53. *Poulter, Th. C.*: Seismic Measurements on the Ross Shelf Ice, part I, II. Trans. Am. Geoph. Union. Bd. 28, 1947, S. 162—170, 367—384.
54. *Poulter, Th. C.*: Geophysical Studies in the Antarctic. Rep. Office Naval Research Proj. 081—020. Stanford Research Institute. 1950.
- 54a. *Priestley, R. E.*: Antarctic Adventure. London 1914.
55. *Prohaska, F. J.*: Zur Frage der Klimaänderung in der Polarzone des Südatlantik. Arch. f. Meteor., Geoph. und Bioklim., Ser. B, Bd. III, 1951, S. 72.
56. *Rae, R. W.*: Climate of the Canadian Arctic Archipelago. Met. Division. Toronto. 1951.
57. *Regula, H.* und *Lange, H.*: Die Arbeiten der Expeditionswetterwarte der Deutschen Antarktischen Expedition. Ann. d. Hydrographie. Bd. 67. August-Beiheft, 1939, S. 33.
58. *Ritscher, A.*: Wissensch. und fliegerische Ergebnisse d. D. Antarkt.-Exp. 1938/39, Bd. 1, 1942.
59. *Robin, G. de Q.*: Norwegian-British-Swedish Antarctic Expedition 1949—52. Polar Rec. 6, 1953, S. 608 bis 616.
60. *Robin, G. de Q.*: The Norwegian-British-Swedish Antarctic Expedition, 1949—52. J. of Glac. Bd. 2, 1953, S. 205—210.
61. *Ronne, F.*: Ronne Antarctic Research Expedition 1946—48. Geogr. Rev. 1948, S. 355—391.
62. *Roots, E. F.*: The Norwegian-British-Swedish Antarctic Expedition 1949—52. Science News 26, 1952.
- 62a. *Roscoe, J. H.*: Regional Photographic Interpretation Service, Antarctica. U. S. Naval Photographic Interpretation Center. Washington 1950.
63. *Rymill, J.*: Southern Lights. London 1938.
64. *Schmidt, W.*: Der Massenaustausch in freier Luft und verwandte Erscheinungen. Hamburg 1925.
65. *Schumacher, N. J.*: The Maudheim Expedition. Weather 1952, S. 330.
66. *Schytt, V.*: The Norwegian-British-Swedish Antarctic Expedition 1949—52. I. Summary of the Glaciological Work. Journal of Glaciology. Bd. 2, 1953, S. 204.
67. *Simpson, G. C.*: British Antarctic Expedition 1910—1913. Meteorology. Bd. 1, S. 21.
68. *Simpson, G. C.*: Ice Ages. Nature Bd. 141, no. 3570, 1938.
69. *Simpson, F. A.*: The Antarctic Today. 390 Seiten. Wellington 1952.
- 69a. *Siple, P. A.*: Geographical Exploration from Little America III. Proc. Am. Phil. Soc. 89, 1945, S. 23—60.
70. *Sorge, E.*: Glaziologische Untersuchungen in Eismitte. Wiss. Erg. d. D. Grönlandexp. Alfred Wegener. Bd. III, 1935, S. 117.
71. *Sorge, E.*: Glaziologische Untersuchungen bei 200 km Randabstand. Wiss. Erg. d. D. Grönlandexp. Alfred Wegener. Bd. IV, 2, 1939, S. 351.
72. *Sparr, E.*: Contribución al Conocimiento de la Bibliografía Meteorológica y Climatológica del Cuadrante Americano de la Antártica y Subantártica. Boletín Acad. Nacional de Ciencias. Córdoba. Tl. II, Bd. 34, 181—201, 1939; Tl. III, Bd. 37, 332—341, 1945; Tl. IV, Bd. 39, 274—289, 1951.
- 72a. *Sverdrup, H. U.*: Norwegian North Polar Expedition with the "Maud". Scientific Results. Bd. 2. Meteorology. Teil 1. Discussion. S. 100.
73. *Thams, Chr.*: Über die Strahlungseigenschaften der Schneedecke. Gerlands Beiträge zur Geophysik Bd. 53, 1938, S. 371.
74. *Wade, F. A.*: Northeastern Borderlands of the Ross Sea. Geogr. Rev. 27, 1937, S. 587.

75. Wade, A. F.: The Physical Aspects of the Ross Shelf Ice. Proc. Am. Phil. Soc. Bd. 89, 1945, S. 160—173.  
 76. Wegener, K. und Holzapfel, R.: Das Schneefegen. Wiss. Erg. d. D. Grönlandexp. Alfred Wegener. Bd. 1, S. 172, 1933.  
 77. Wegener, K.: Wiss. Erg. d. D. Grönlandexp. Alfred Wegener. Bd. IV, 2, S. 125. Leipzig 1939.

- 77a. Wright, C. S.: The Ross Barrier and the Mechanism of Ice Movement. Geogr. J. 65, 1925, S. 198—220.  
 78. Wundt, W.: Änderungen der Erdalbedo während der Eiszeit. Met. Zeitschr. 50, 1933, S. 241.  
 79. Ångström, A. and Tryselius, O.: Total Radiation from Sun and Sky at Abisko. Geogr. Ann. 16, 1934, S. 53.

## DAS SIEGERLAND als Beispiel wirtschaftsgeschichtlicher und wirtschaftsgeographischer Harmonie

Paul Fickeler

Mit 15 Abbildungen

*The Siegerland: an example of economic historical and economic geographical harmony*

*Summary:* This paper discusses the historical and geographical aspects of the economy of the Siegerland, one of the most ancient and interesting centres of the iron industry in Middle Europe, and shows the harmony found between nature and the various human activities. Excavations have shown that iron was worked extensively during the La Tène period (500 B. C. — 100 A. D.) (cf. map). To the original location factors, iron ore and charcoal, water power was added and played an important rôle from the 13th to the 19th centuries (cf. map). The great demand for charcoal could only be satisfied by the development of the "Haubergwirtschaft", a flexible type of landuse where, in a closely regulated manner, the same land was used in succession for oak-birch "Niederwald" (scrub), and for arable and pasture, thus satisfying the requirements of both industry and agriculture. The Siegerland provides a unique example of this well-balanced form of land use.

From about 1860, when charcoal was superseded by hard coal, until about 1900, the oak scrub supplied a considerable boot sole leather tanning industry with tanning bark. When bark was eventually replaced by the development of quick tanning agents, the tanning industry ceased, and the scrub began to revert to a high forest of deciduous trees and firs. Today, about half of the former scrub area has become high forest; a development which has altered the scene most strikingly.

Since 1850 the ancient iron ore mines have been replaced by successively deeper workings. Today depths of 1,000 m. are common, while in one case, a depth of 1,303 m. is the greatest yet to be achieved in any iron ore mine. The local iron industry has made important contributions to metal processing techniques. This has resulted in a high degree of concentration of certain specialised branches of processing. Of the present ten German "Walzengießereien" (a certain type of foundry) eight are found in the Siegerland. Their existence has promoted the tin plate rolling industry which specialises in fine tin plates. This in turn has favoured the production of tin plate goods, the local industry accounting for half of the entire German output. These industries are the basis of the Siegerland engineering industry, which produces a wide variety of machines ranging from all types of large equipment down to typewriters, for both domestic and export markets.

A synoptic chart in the text shows the logical grouping, the compactness and balanced harmony of the economic structure of the Siegerland and also indicates the historical relationship between the various branches of production and the mutual relationship between the economic structure and the landscape (cf. p. 49).

Das Siegerland als Landschaft im Ostflügel des Rheinischen Schiefergebirges an der oberen Sieg mit dem Hauptort Siegen, nach denen das Land seinen Namen erhielt, hat durch sein wertvolles manganreiches Eisenerz und dessen Verarbeitung seit rund 2500 Jahren zu einem der wirtschaftlich wichtigsten Gebiete Deutschlands sich entwickelt. Seine Geschichte ist in erster Linie Wirtschaftsgeschichte und auch seine Landeskunde größtenteils wirtschaftsbetont.

Das Eisen und seine Verarbeitung mit allen ihren Folgewirkungen haben seine Wirtschaft und Landschaft so tief und nachhaltig geprägt, daß dem Siegerland eine individuelle Eigenart und Sonderstellung und, trotz der räumlichen Kleinheit des Gebietes von nur 30 mal 40 km Durchmesser, eine sehr große Wirtschaftsbedeutung zukommt, welche die besondere Beachtung der Geschichtler und Geographen auf sich gezogen hat.

Über die Geschichte, insbesondere Wirtschaftsgeschichte des Siegerlandes besteht schon ein ungewöhnlich umfangreiches Schrifttum, das Th. Kraus bis 1929 ausgewertet und dessen Früchte er mit seinen eigenen Untersuchungsergebnissen verarbeitet und in methodisch klarer und übersichtlicher Form in einer zusammenfassenden länderkundlichen Studie 1931 (16) dargestellt hat. Auf diese grundlegende Arbeit und ihr ausführliches Schriftenverzeichnis sei hier nachdrücklich hingewiesen.

Seit 1930 sind weitere wichtige Arbeiten zur Geschichte, insbesondere Wirtschaftsgeschichte, und Wirtschaftsgeographie des Siegerlandes hinzugekommen, die, zusammen mit den bedeutendsten älteren zusammenfassenden Arbeiten, in der Schrifttum-Auswahl in zeitlicher Reihenfolge am Ende dieses Aufsatzes angeführt sind. Hierauf wird an den entsprechenden Stellen im Text jeweils hingewiesen werden, wobei die erste Zahl in der Klammer der Nummer des Schriftenverzeichnisses, die Zahl nach dem Doppelpunkt dagegen der Seitenzahl der angeführten Veröffentlichung entspricht.