

Über die in der heutigen Vergletscherung der Erde als Eis gebundene Wassermasse

VON ALBERT BAUER

Expéditions Polaires Françaises. Missions Paul-Emile Victor. Mit 5 Abb.

Inhaltsverzeichnis

Résumé.

Summary.

Einleitung.

1. Grönland.

2. Antarktis

2. 1 Karte der Antarktis

2. 2 Höhenverhältnisse der Oberfläche des Antarktischen Inlandeises

2. 3 Höhenverhältnisse des Untergrundes des Antarktischen Inlandeises

2. 4 Vergleich der geologischen und geophysikalischen Schätzungen.

Schrifttum.

Résumé. Les conditions de l'Inlandsis du Groenland, bien connues depuis les investigations des Expéditions Polaires Françaises 1948-1952, extrapolées à l'Inlandsis Antarctique, ont permis de déterminer le volume des glaces de la terre. Ce volume est de 21 740 000 km³ de glace équivalent à une tranche d'eau de 54 m. Cette nouvelle évaluation confirme l'excellence des estimations antérieures basées sur des données géologiques.

Summary. Extrapolating the conditions of the Greenland Icecap, which are wellknown since the investigations of the French Polar Expeditions, to the Antarctic Icecap, has made it possible to determine the volume of the ice of the earth. It is 21 740 000 km³, equivalent to a sheet of water 54 m thick. This new evaluation confirms the excellence of previous estimations, which were based on geological facts.

Einleitung

In den Jahren 1948 bis 1951 ist die Erforschung des Grönländischen Inlandeises entscheidend vorwärtsgeschritten, dank der wissenschaftlichen Ergebnisse, die die Französischen Polarexpeditionen heimgebracht und veröffentlicht haben. (BAUER 1952). Vor allem ist der heutige Rauminhalt des Grönländischen Inlandeises sowie die allgemeine Morphologie seines Untergrundes festgelegt.

Flächenmäßig nimmt das Grönländische Inlandeis 12%, das Antarktische Inlandeis aber 85% der Vergletscherung der Erde ein. Aber das Antarktische Inlandeis ist heute noch eine große Unbekannte. Wir werden die gut bekannten Verhältnisse Grönlands auf die Antarktis übertragen, um so den Rauminhalt des Antarktischen Inlandeises zu schätzen. Daraus läßt sich die in der heutigen Vergletscherung der Erde als Eis gebundene Wassermasse erschließen.

Unsere Arbeitshypothese ist folgende. Ein Inlandeis vom Ausmaße des Grönländischen oder des Antarktischen stellt ein Naturphänomen dar, das ein Gleichgewicht verschiedener Naturgesetze ausdrückt. Ob dieses Naturphänomen im nördlichen oder südlichen Erdteil besteht, das mag in erster, annähernder Schätzung unwesentlich sein. Es ist ein Naturphänomen. Diese Hypothese wurde allgemein angenommen, um aus der Kenntnis der Inlandeise, die in Nordeuropa und in Nordamerika in der Eiszeit bestanden haben, die der Inlandeise Grönlands und der Antarktika zu erschließen, ein entgegengesetzter Weg als der, dem wir folgen werden. Also nicht nur im Raum, sondern auch in der Zeit hat man diese Hypothese angenommen. Und die heutige direkte Kenntnis des Grönländischen Inlandeises steht im Einklang mit dem aus geologischen und geophysikalischen Daten geschätzten Inlandeise der Eiszeit.

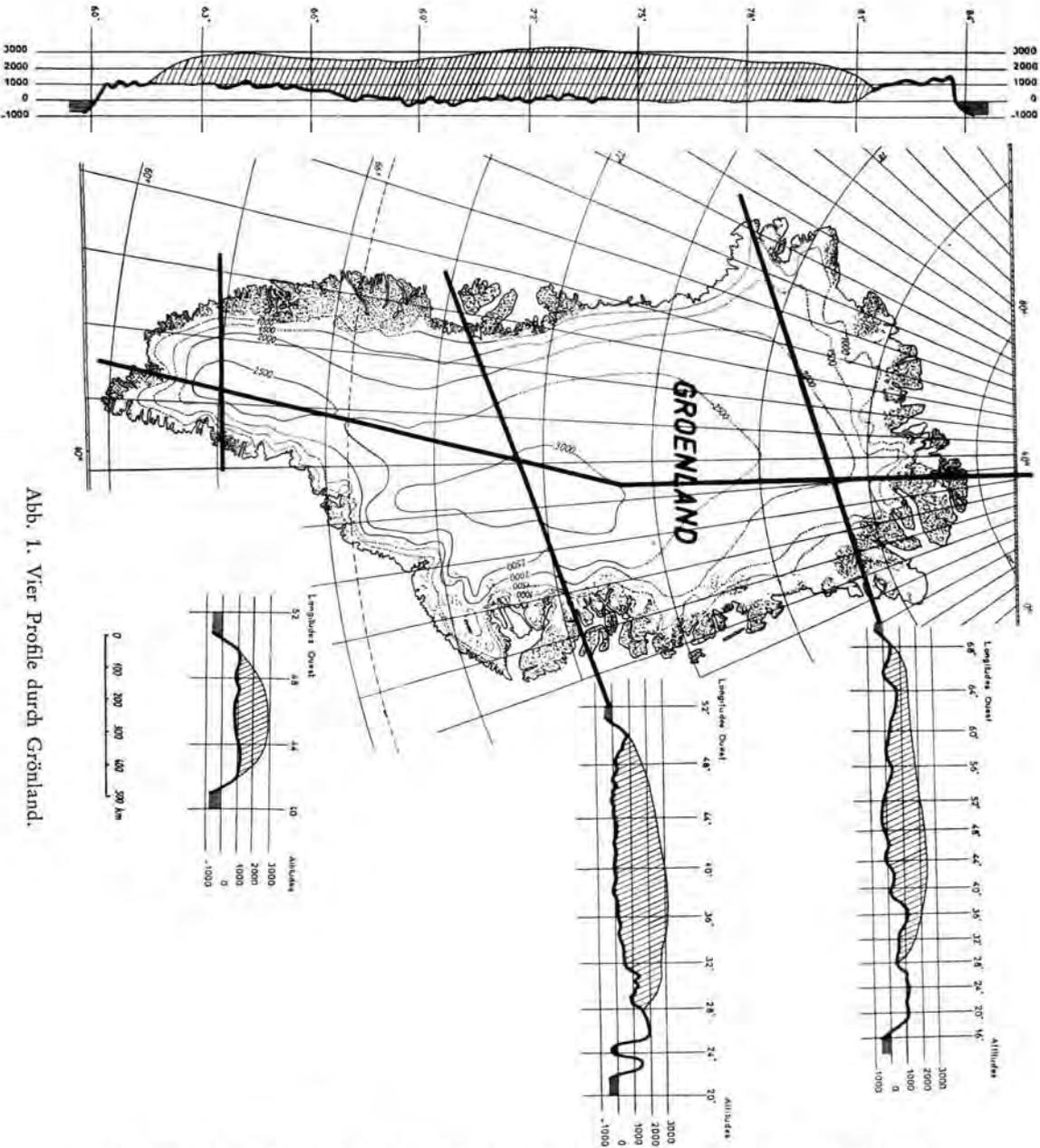


Abb. 1. Vier Profile durch Grönland.

Dies bestätigt auch das Aufsteigen der fennoskandischen und der nordamerikanischen Scholle nach dem Verschwinden der Inlandeise des Pleistozäns und die heutige Schüsselform der grönländischen Scholle unter seinem Inlandeis. Auch sind sich die Glaziologen im Allgemeinen darüber einig, daß Zunahme und Rückgang der Vergletscherung sich synchron über die ganze Erde verteilen.

Die Arbeitshypothese müssen wir vorerst annehmen, in der Erwartung einer direkten Vermessung des Antarktischen Inlandeises, die in kurzer Zeit noch nicht bevorsteht.

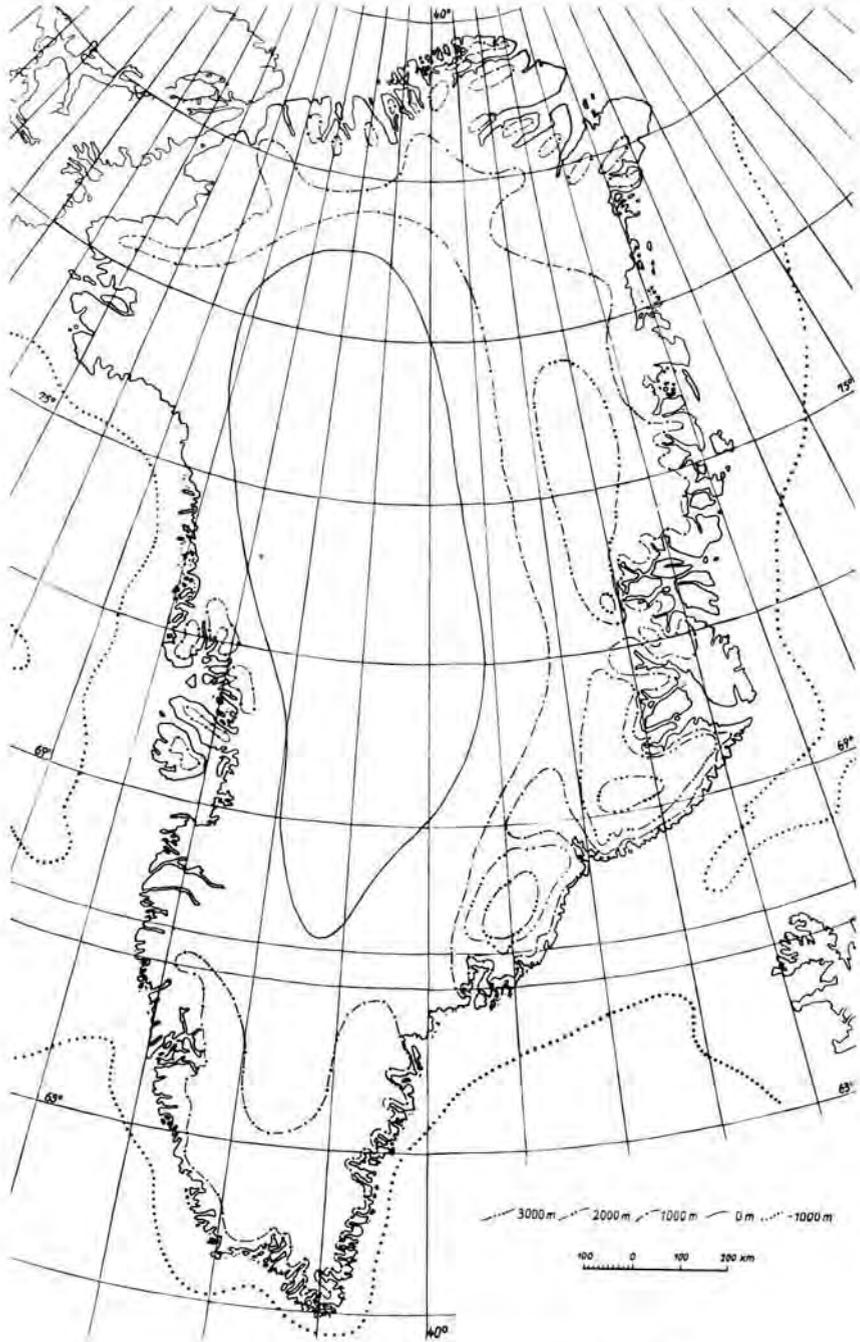


Abb. 2. Höhenkarte des entgletscherten Grönlands.

Was Grönland anbelangt, werden wir uns kurz fassen, da die Ergebnisse eingehend veröffentlicht worden sind (Expéditions Polaires Françaises 1954).

1. Grönland

Die im allgemeinen gut bekannten Höhenverhältnisse und Randbedingungen des Grönländischen Inlandeises haben es uns ermöglicht, die Gesamtfläche sowie die Flächen zwischen den Höhenkurven zu messen. Diese Daten gestatten es uns, die hypsographische Kurve der Oberfläche des Inlandeises zu zeichnen (Abb. 3). Daraus läßt sich die mittlere Höhe erschließen.

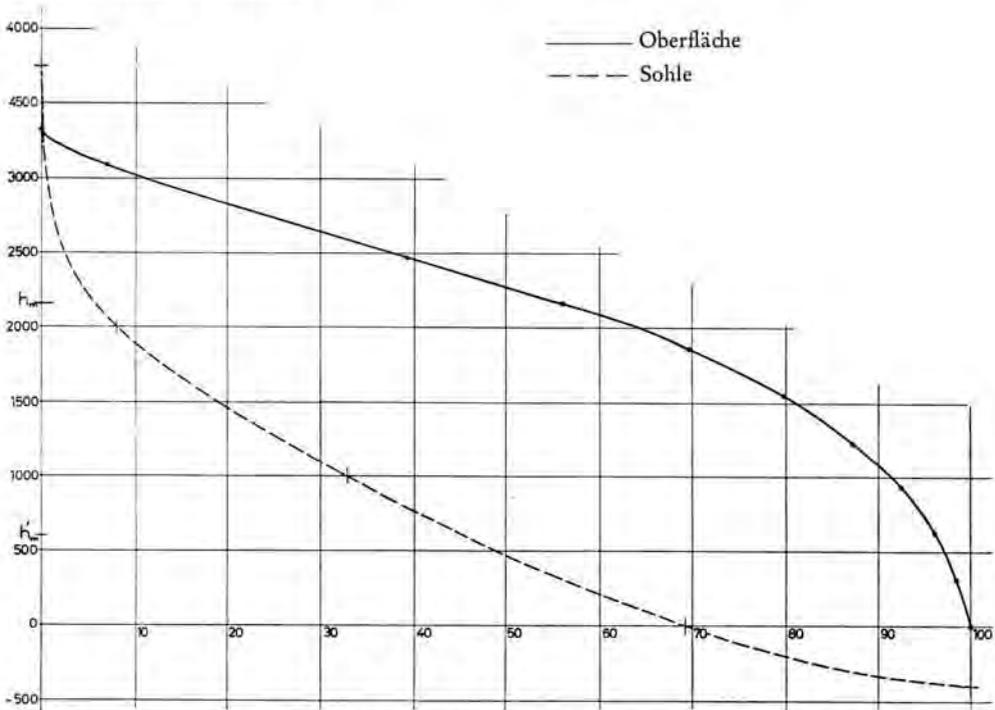


Abb. 3. Hypsographische Kurven der Oberfläche und der Sohle des Grönländischen Inlandeises.

Die 400 Eisdickenmessungen der Seismischen Abteilung der Französischen Polar-Expeditionen in Grönland, die sich auf eine Strecke von etwa 8000 km verteilen, sowie ein Nordprofil, das 1954 von HOLTZSCHERER in Zusammenarbeit mit den U.S.A. aufgestellt wurde (Abb. 1), haben es uns erlaubt, eine Höhenkarte des entgletscherten Grönlands zu zeichnen (Abb. 2). Der auf dieser Karte dem Inlandeise entsprechende Teil ermöglichte es uns, die hypsographische Kurve des Untergrundes des Grönländischen Inlandeises zu erschließen (Abb. 3), und damit die mittlere Höhe dieses Untergrundes, wie auch die mittlere Eisdicke.

Folgende Werte geben ein Gesamtbild des Grönländischen Inlandeises:

Fläche	1 726.10 ⁶ km ²
Mittlere Höhe der Oberfläche	2 135 m
Mittlere Höhe des Untergrundes	620 m
Mittlere Eisdicke	1 515 m
Rauminhalt des Eises	2,6.10 ⁶ km ³
Rauminhalt, Wasserwert	2,35.10 ⁶ km ³
Wassersäule (ohne isostatische Ausgleichung)	6,50 m

2. Antarktis

2. 1 Karte der Antarktis

Für unsere Arbeit haben wir die Karte im Maßstab 1 : 11 250 000 von KOSACK (1951) gewählt. Es ist dies die einzige Karte, die den Höhenlinien der Antarktis anzugeben. Angesichts der Unsicherheit in der Bestimmung dieser Höhenlinien genügt uns der kleine Maßstab. Man darf nicht vergessen, daß flächenmäßig heute noch mehr als die Hälfte der Antarktis unerforschtes Gebiet ist.

Zuerst haben wir versucht, die Höhenlinien zu schließen. Unsere Resultate werden zeigen, daß dieses Verfahren, angesichts der Ausgangsfehler, keine allzu großen Fehler mit sich bringen kann. Für „Neuschwabenland“ bzw. „Dronning Maud Land“ steht heute fest, daß nach der Norwegisch-Britisch-Schwedischen Antarktischen Expedition 1949-52 (SWITHINBANK 1954) die Höhen der Schwabenland-Expedition (RITSCHER 1942)

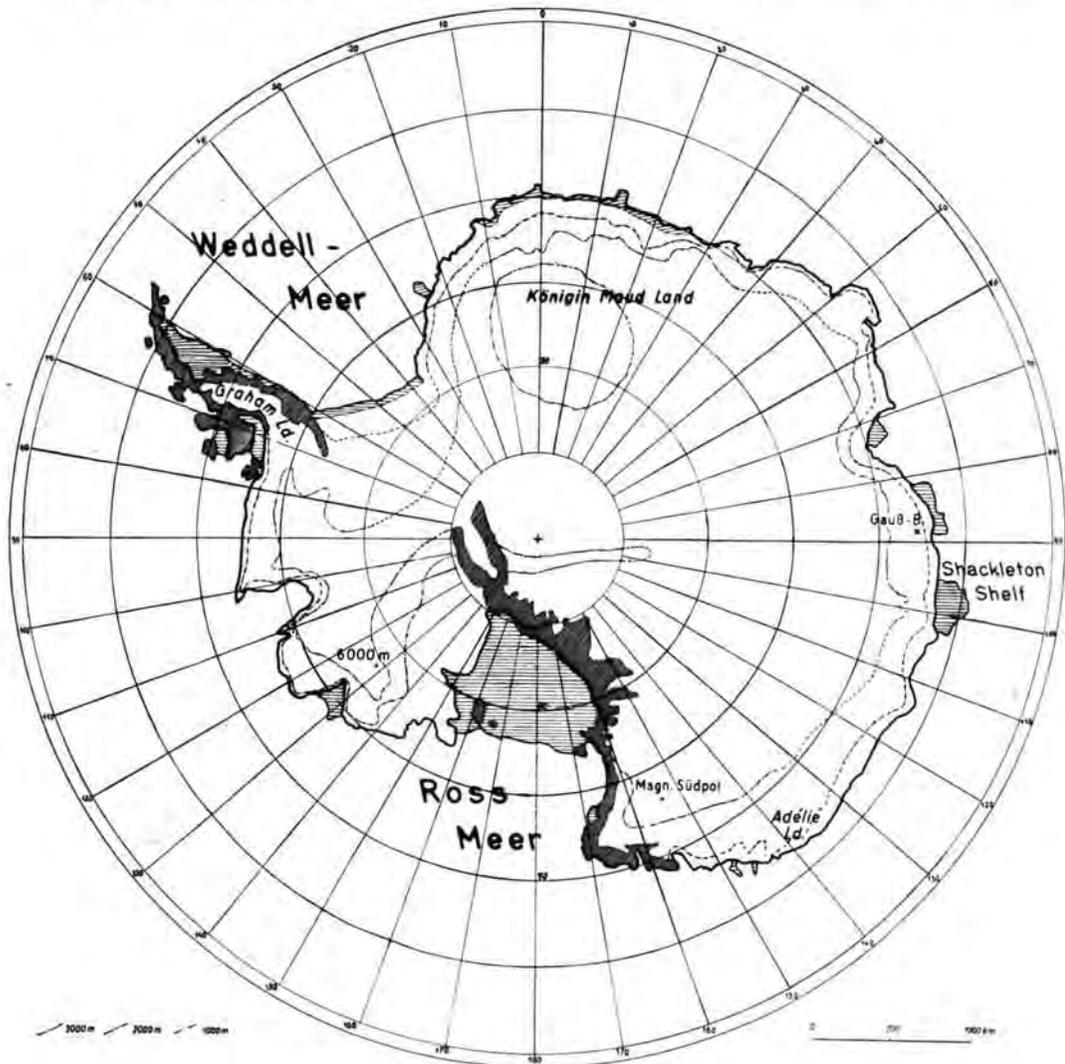


Abb. 4. Höhenkarte des Antarktischen Inlandeises.

zu hoch waren. So haben wir angenommen, daß die Maximalhöhe in dieser Gegend 3 300 m beträgt und daß nach den meteorologischen Daten (LAMB 1951) ein Vergletscherungszentrum besteht, was sich in der 3000-m-Höhenlinie ausdrückt. Auch diese angenommene Figur der 3000-m-Linie wird keinen Einfluß auf unser Endresultat haben.

Alle diese Daten sind in Abb. 4 dargelegt.

2. 2 Höhenverhältnisse der Oberfläche des Antarktischen Inlandeises

Folgende Werte, die in Einklang mit denjenigen von KOSACK (1950, 1951a) stehen, haben wir aus unserer Karte ermittelt.

Fläche der Antarktis (Festland)	13,2.10 ⁶ km ²
Fläche des Antarktischen Inlandeises	12,6.10 ⁶ km ²
Relativ entgletschertes Festland	0,6.10 ⁶ km ²

Der Eisschelf hat eine Gesamtfläche von 0,9.10⁶ km², so wie früher schon geschätzt wurde (NORDENSKJÖLD 1926). Nähmen wir eine mittlere Eisdecke von 200 m an (POULTER 1947, ROBIN 1953), so kämen wir zu einem Rauminhalt des Eisschelfs von 0,18.10⁶ km³ Eis. Da aber im allgemeinen der Eisschelf als schwimmendes Eis erkannt ist, kann der Wasserwert dieser Eismasse bei einer eventuellen Schmelzung auf die eustatische Meeresspiegelschwankung keinen Einfluß haben.

Nähmen wir 100 m als mögliche mittlere Eisdicke des relativ entgletscherten Festlandes an, so ergäbe sich ein Rauminhalt von 0,06.10⁶ km³ Eis. Diese Eismasse kann in Anbetracht des hohen Rauminhalts des Antarktischen Inlandeises und der Unsicherheit dieses Wertes vernachlässigt werden.

Die Planimetrierung ergibt folgende Werte:

Höhen in m	Flächen in %
0—1000	11
1000—2000	20
2000—3000	63
3000—3300	6
	100%

An Hand dieser Werte können wir die hypsographische Kurve für die Oberfläche des Inlandeises zeichnen. Zum Vergleich haben wir auch die hypsographische Kurve des Grönländischen Inlandeises eingetragen (Abb. 5).

In Anbetracht der Unsicherheiten der Werte für die Antarktis, hauptsächlich der 3000-m-Linie, und auch in Anbetracht unserer Arbeitshypothese können wir in erster Annäherung annehmen, daß die hypsographischen Kurven der Inlandeisoberflächen von Grönland und der Antarktis identisch sind. Daraus ergibt sich eine mittlere Höhe von 2 130 m.

2. 3 Höhenverhältnisse des Untergrundes des Antarktischen Inlandeises

Wohl hat die Norwegisch-Britisch-Schwedische Antarktische Expedition von 1949 bis 1952 einige, heute einzig dastehende Eisdickenmessungen der Antarktis vorgenommen. Die Tatsache, daß das Inlandeis noch völlig unbekannt ist, besteht jedoch. Die seismischen Messungen dieser Expedition (ROBIN 1953) haben gezeigt, daß die Eismächtigkeit etwa 600 km von der Küste dieselbe wie im Innern von Grönland ist. Diese Tatsache und unsere Arbeitshypothese lassen vermuten, daß nicht nur die Oberflächen, sondern auch die Sockel des Grönländischen und des Antarktischen Inlandeises, in ihren hypsographischen Kurven ausgedrückt, identisch sind. Dementsprechend haben wir die hypsographische Kurve des Untergrundes des Antarktischen Inlandeises gezeichnet

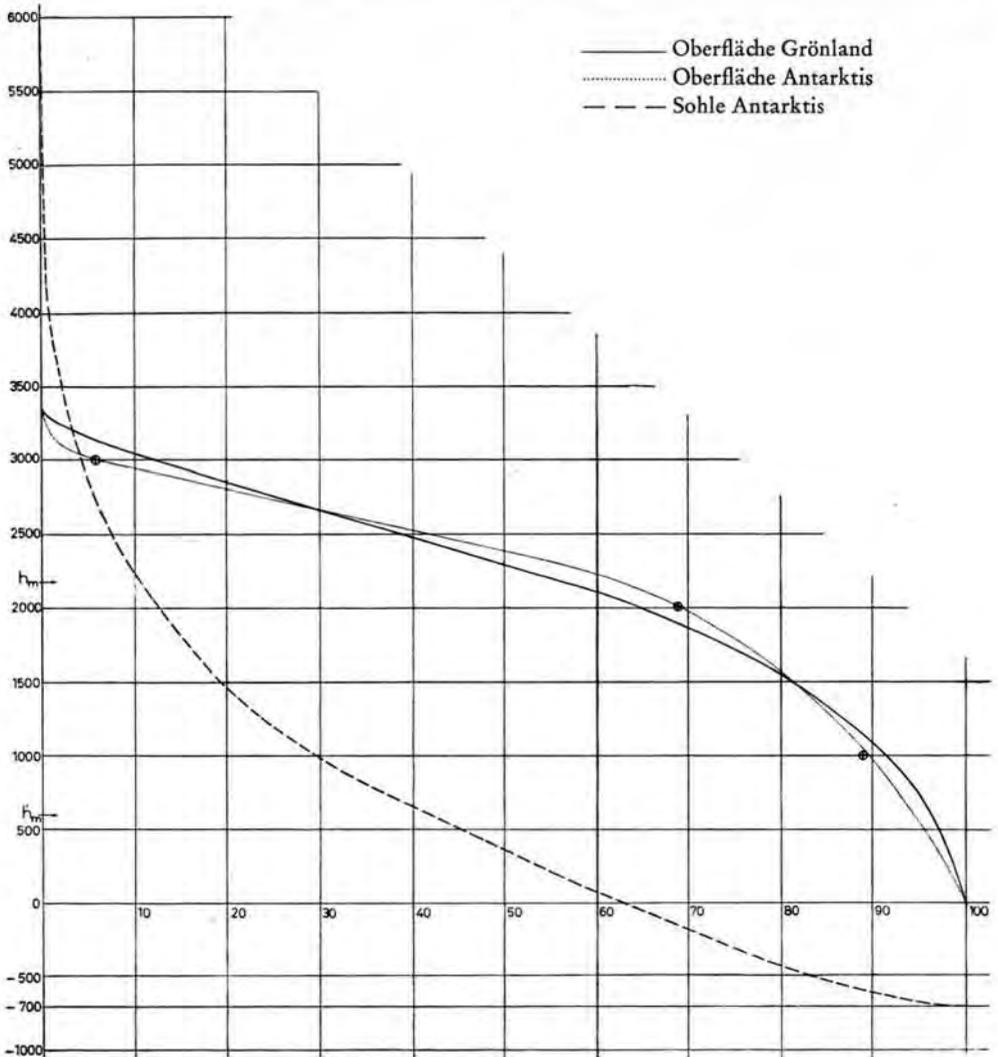


Abb. 5. Hypsographische Kurven der Oberfläche und der Sohle des Antarktischen Inlandeises. (Abb. 5). Diese Kurve hat dieselbe konkave Form wie die des Grönländischen Inlandeises, nur läuft sie von -700 m (ROBIN 1953) bis $+ 6000$ m. Wenn auch die höchsten Gipfel der Antarktis 6000 m übersteigen, so kann dies auf unser Endresultat keinen Einfluß haben. Aus dieser Kurve haben wir als mittlere Höhe des Untergrundes des Antarktischen Inlandeises den Wert von 630 m ermittelt.

Stellen wir die Daten zusammen, so kommen wir zu folgender Tabelle:

Fläche	$12,6 \cdot 10^6$ km ²
Mittlere Höhe der Oberfläche	$2\ 130$ m
Mittlere Höhe des Untergrundes	630 m
Mittlere Eisdicke	$1\ 500$ m
Rauminhalt - Eis	$18,9 \cdot 10^6$ km ³
Rauminhalt - Wasser	$17,0 \cdot 10^6$ km ³
Wassersäule (ohne isostatische Ausgleichung)	47 m

2. 4 Vergleich der geologischen und geophysikalischen Schätzungen

Zum Vergleich haben wir alle Werte verschiedener Autoren in Tabellen zusammengestellt. Die Werte von 1929 bis 1948 können wir als geologische Werte betrachten. Es ist bemerkenswert, daß die Ergebnisse der Deutschen Grönlandexpedition 1929, 1930-31 von A. WEGENER, insbesondere die seismischen Eisdickenmessungen, in der Schätzung der Wassermasse des Eises der Erde keine Auswertung gefunden haben.

Tabelle 1: Grönland

Autor	Jahr	Fläche km ²	Mittlere Eismächtigkeit in m	Rauminhalt (Eis) in km ³
ANTEVS	1929	1 833 900	1 400	2 567 460
RAMSAY	1930	1 870 000	1 400	2 620 000
DUBOIS	1931	1 833 000	1 000 1 400	1 800 000 2 600 000
DALY	1934	1 834 000	1 000	1 834 000
THORARINSSON	1940	1 650 000	900	1 485 000
CAILLEUX	1952	1 650 000	1 900 2 200	3 130 000 3 630 000
BAUER	1955	1 726 400	1 515	2 600 000

Tabelle 2: Antarktis

Autor	Jahr	Fläche km ²	Mittlere Eismächtigkeit in m	Rauminhalt (Eis) in km ³
ANTEVS	1929	13 500 000	1 000 1 525	13 500 000 20 587 500
RAMSAY	1930	13 000 000	1 500	19 500 000
DUBOIS	1931			23 200 000
DALY	1934	13 500 000	1 400	18 900 000
THORARINSSON	1940	13 000 000	600	7 800 000
CAILLEUX	1952			26 000 000
BAUER	1955	12 600 000	1 500	18 900 000

Tabelle 3: Andere Gletscher

Autor	Jahr	Fläche km ²	Mittlere Eismächtigkeit in m	Rauminhalt (Eis) in km ³
ANTEVS	1929	256 000	klein	zu übersehen
RAMSAY ¹⁾	1930	256 000	150/200	47 000
DALY	1934	500 000	300	150 000
THORARINSSON	1940	450 000	100/600	243 249
ROMANOVSKY & CAILLEUX	1953	450 000		100 000
BAUER ²⁾	1955	450 000		240 000

Tabelle 4: Das Eis der Erde

Autor	Jahr	Fläche km ²	Rauminhalt (Eis) in km ³	Hebung des Meeresspiegels ³⁾
ANTEVS	1929	15 589 900	16 067 460 23 154 960	40 m 60 m
RAMSAY	1930	15 126 000	22 167 000 ⁴⁾	55 m
DUBOIS	1931		15 300 000 23 200 000	38 m 58 m
DALY	1934	15 834 000	20 884 000	50 m
THORARINSSON	1940	15 100 000	9 528 249	24 m
FLINT	1947	15 100.035		24 m 60 m
KLEBELSBERG	1948		22 500 000	55 m
CAILLEUX	1952		26 000 000 36 000 000	65 m 90 m
ROMANOVSKY & CAILLEUX	1953	15 100 000	35 500 000	89 m
AHLMANN	1953			90 m
CAILLEUX	1954		22 000 000 36 000 000	55 m 90 m
BAUER	1955	14 776 400	21 740 000	54 m

¹⁾ Die Veröffentlichung von RAMSAY gibt folgende Zahlen an:

	Area km ²	Average Thickness	Volume km ³
Temperate glaciers	0,07.10 ⁴	150 m	0,01.10 ⁶
Smaller icecaps	0,186	300	0,37.10 ⁶

Die zweite Zeile ist falsch. Nach dem Werte des Rauminhalts muß die mittlere Dicke 200 m und nicht 300 m sein. Dann ist noch ein Rechenfehler vorhanden, denn

$$186\,000\text{ km}^2 \times 0,2 = 37\,200\text{ km}^3 \text{ und nicht } 370\,000\text{ km}^3.$$

²⁾ Nach THORARINSSON angenommen.

³⁾ Ohne isostatische Ausgleichung.

⁴⁾ Verbessertes Wert. - Siehe Tabelle 3.

Tabelle 5: Das Eis der Erde

	Fläche	Rauminhalt
Grönland	11,7	12
Antarktis	85,3	87
Andere Gletscher	3,0	1
	<u>100,0%</u>	<u>100%</u>

Vergletschertes Land der Erde: ungefähr 10%.

Zu den Tabellen 1 bis 4 ist folgendes zu bemerken:

Daß die mittleren Eisdicken, die THORARINSSON annimmt, zu schwach sind, haben die seismischen Messungen in Grönland klargelegt (Expéditions Polaires Françaises 1954). So liegen für die Veröffentlichungen von 1929-1948 die Werte der Wassersäule zwischen 40 und 60 m.

Diesen geologischen Daten stehen diejenigen aus den Ergebnissen der Französischen Polarexpeditionen gegenüber. Die Werte von CAILLEUX 1952, ROMANOVSKY & CAILLEUX 1953, wie auch die von AHLMANN 1953 und CAILLEUX 1954 sind viel zu groß. Dies ist erklärlich, da CAILLEUX 1952 nur die vorläufigen Veröffentlichungen besaß: es war der Querschnitt W-O im mittleren Grönland. Heute wissen wir, daß dieses Profil die größte Mächtigkeit des Grönländischen Inlandeises aufweist (Abb. 1). CAILLEUX hat die mittlere Eisdicke dieses Profils von über 2000 m für ganz Grönland angenommen und auf die Antarktis übertragen, was natürlich zu viel zu großen Werten führte.

Gegenüber den geologischen Schätzungen bleiben demnach nur unsere Ergebnisse. Es zeigt sich, daß die geophysikalischen Methoden die geologischen Schätzungen bestätigen.

Schrifttum

- AHLMANN, H. W. (1948): Glaciological Research on the North-Atlantic Coasts. - The Royal Geographical Society, Research Series No. I. - - (1953) Glacier Variations and Climatic Fluctuations, American Geographical Society, B.M.L. 3.
- ANTEVS, E. (1929): Quaternary Marine Terraces in non glaciated regions and change of level of sea and land. - Amer. J. Science **17**.
- BAUER, A. (1952): Wissenschaftliche Ergebnisse der französischen Polarexpeditionen Adélie-Land (Antarktis) 1948-1952 und Grönland 1948-1951. - Naturw. Rundschau **5**. - - (1954) Siehe: Expéditions Polaires Françaises 1954.
- BYRD, R. E. (1947): Our Navy explores Antarctica. - The National Geographical Magazine **92**.
- CAILLEUX, A. (1952): Premiers enseignements glaciologiques des Expéditions Polaires Françaises 1948-51. - Revue de Geomorphologie Dynamique **3**. - - (1954) Ampleur des régressions glaciostatiques. - Bull. Soc. Géol. de France (6) **4**.
- DALY, R. A. (1934): The changing world of the Ice Age. - New-Haven, Yale University Press.
- DUBOIS, G. (1931): Données numériques relatives aux glaciations quaternaires. - Bull. Ass. Amic. Inst. Sc. Géolog. Strasbourg.
- EXPÉDITIONS POLAIRES FRANÇAISES (1954): Contribution des Expéditions Polaires Françaises à la connaissance de l'Inlandsis du Groenland: 1 ère partie: Mesures séismiques, par HOLTZSCHERER, J. J. 2 ème partie: Synthèse glaciologique, par BAUER, A. - Dixième Assemblée Générale de l'U.G.G.I., Commission des Neiges et des Glaces de l'Association Internationale d'Hydrologie Scientifique, Rome 1954.
- FLINT, R. F. (1947): Glacial Geology and the Pleistocene Epoch. - New-York.
- HESS, H. (1933): Das Eis der Erde. - Handbuch der Geophysik **7**.
- HOLTZSCHERER, J. J. & ROBIN, G. de Q. (1934): Depth of Polar Icecaps. - Geographical Journal **120**.
- HOLTZSCHERER, J. J. (1954): Siehe: Expéditions Polaires Françaises 1954.
- KOSACK, H. P. (1950): Wie groß ist das Südpolargebiet? - Petermanns geogr. Mitt. 1950. - - (1951a) Beiträge zur physischen Geographie von Antarktika. - Polarforschung 1951. - - (1951b) Eine neue Karte von Antarktika. - Petermanns geogr. Mitt. 1951.
- KLEBELSBERG, R. v. (1948): Handbuch der Gletscherkunde und Glazialgeologie, Bd. I, Wien.

- LAMB, H. H. (1951): Meteorological Situations over the south polar regions and alimationation of the Antarctic Icecap. - Neuvième Assemblée Générale de l'U.G.G.I., A.I.H.S., Tome I, Rapports et comptes-rendus de la Commission des Neiges et des Glaces, Bruxelles 1951.
- LOEWE, F. (1954): Beiträge zur Kenntnis der Antarktis. - Erdkunde 8.
- MEINARDUS, W. (1926): Die hypsographischen Kurven Grönlands und der Antarktis und die Normalform der Inlandeisoberfläche. - Petermanns geogr. Mitt. 72.
- NORDENSKJÖLD, O. (1926): Nord- und Südpolarländer. - Kendes Enzyklopädie der Erdkunde.
- POULTER, Th. C. (1947): Seismic measurements of the Ross Shelf Ice, part 1 & 2. - Trans. Am. Geophys. Union 28.
- RAMSAY, W. (1930): Changes of sea-level resulting from the Increase and decrease of glaciations. - Fennia 52.
- RITSCHER, A. (1942): Wissenschaftliche und Fliegerische Ergebnisse der Deutschen Antarktischen Expedition 1938/39, Band I.
- ROBIN, G. de Q. (1953): The Norwegian-British-Swedish Antarctic Expedition 1949-52, 2. Summary of seismic shooting investigations in Dronning Maud Land. - Journ. of Glaciol. 2, No. 13.
- ROMANOVSKY, V. & CAILLEUX, A. (1953): La Glace et les Glaciers. - Presses Universitaires de France, collection: Que Sais-je?.
- SWITHINBANK, C. (1954): (Map) Western Dronning Maud Land 1953. - In HOLTZSCHERER, J. J. & ROBIN, G. de Q., 1954.
- THORARINSSON, S. (1940): Present glacier shrinkage and eustatic changes of sea-level. - Geogr. Annaler 22.

Manusk. eingeg. 7. 3. 1955.

Anschrift des Verf.: Prof. A. Bauer, Strasbourg-Neudorf, rue d'Epinal 9, FRANCE.