

# Die internationale glaziologische Grönlandexpedition 1957 bis 1960 (E.G.I.G.)

Autor(en): **Haefeli, R.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **77 (1959)**

Heft 29

PDF erstellt am: **25.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-84284>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

## Die internationale glaziologische Grönlandexpedition 1957 bis 1960 (E. G. I. G.)

Von Prof. Dr. R. Haefeli, ETH, Zürich. Gletscherkommission der Schweiz. Naturforschenden Gesellschaft

DK 551.311.12:551.506.5

Am 8. April 1959 ist das Gros der E. G. I. G.<sup>1)</sup>, welches zusammengesetzt ist aus 24 Forschern und 31 Technikern, nach der Basisstation «Sondrestromfjord» (BW 8) an der Westküste Grönlands abgereist, um von dort mit Raupenfahrzeugen (Weasel) ins eigentliche Expeditionsgebiet vorzustossen, das sich zwischen dem 69. und 73. Breitengrad, quer über das rd. 1000 km breite Inlandeis, erstreckt. Nachdem die Ueberwindung der Spaltenzone, die das Inlandeis wie eine Dornenhecke gegen das Eindringen Unbefugter schützt, gelungen ist, konnten die verschiedenen Teams mit ihren Arbeiten beginnen<sup>2)</sup>.

### 1. Organisation

Im Anschluss an die Tagung der Int. Union für Geodäsie und Geophysik (U. G. G. I.) in Rom (1954) wurde auf Initiative Frankreichs und der Schweiz die Internationale glaziologische Grönlandexpedition ins Leben gerufen, an der sich fünf Länder beteiligten: Dänemark, Frankreich, Deutschland, Oesterreich und die Schweiz.

Die Gründungsversammlung sowie die Koordination der wissenschaftlichen Programme der einzelnen Länder fand anfangs April 1956 in Grindelwald und auf dem Jungfraujoch statt [1, 2]. Die weitere Vorbereitung, Organisation und Finanzierung der Expedition, einschliesslich der hauptsächlich auf dem Luftweg durchgeführten Rekognoszierungen, nahm volle drei Jahre in Anspruch [3].

Das im Rahmen des geophysikalischen Jahres auf lange Sicht geplante Unternehmen steht unter dem Patronat und der wissenschaftlichen Leitung der Kommission für Schnee und Eis der A. I. H. S. (Association Int. d'Hydrologie Scientifique) der U. G. G. I. Der Präsident dieser Kommission (1954 bis 1957 Prof. Dr. R. Haefeli, Zürich, zurzeit Prof. Dr. R. Finsterwalder, München) ist gleichzeitig Präsident des Direktionskomitees der E. G. I. G., während einer ihrer Vizepräsidenten das Amt des Generalsekretärs vollamtlich bekleidet (Prof. A. Bauer, Strasbourg). Der Expeditionsleiter ist der Chef der Expéditions Polaires Françaises, P. E. Victor, der 1948 bis 1953 die ersten motorisierten französischen Grönlandexpeditionen durchführte und heute wohl über die grösste Inlandeis-Erfahrung verfügt. Das wissenschaftliche Team im Felde setzt sich aus acht Geodäten, drei Geophysikern, vier Hydrologen, neun Glaziologen und einem Geologen, total 25 Wissenschaftlern, zusammen. Die Schweiz stellt fünf Glaziologen und einen Geodäten. Der schweizerische Gruppenleiter ist Dr. M. de Quervain, während Prof. Dr. F. Kobold (ETH) als Präsident des Landeskomitees amtiert.

Die Kosten der ganzen Expedition, einschliesslich der Vorbereitungen und Rekognoszierungen in Grönland, belaufen sich auf rd. 7 bis 8 Mio Fr., wovon Frankreich die Hauptlast trägt. Der relativ bescheidene Beitrag der Schweiz von rd. 300 000 Fr., der noch um rd. 100 000 Fr. erhöht werden sollte, wurde im Rahmen der Bundeskredite für das geophysikalische Jahr 1957/58 vom Nationalfonds für wissenschaftliche Forschung und der Schweiz. Stiftung für alpine Forschungen zur Verfügung gestellt.

### 2. Allgemeine Problemstellung

Das grönländische Inlandeis stellt einen einzigen gewaltigen Muttergletscher in Form eines Eisschildes von rd. 2660 km Länge und rund 1000 km maximaler Breite dar, der

1) Expédition glaciologique internationale du Groenland.

2) Hinsichtlich der zukünftigen Veröffentlichungen hat das Direktionskomitee der E. G. I. G. zur Ehrung des Gastlandes Dänemark beschlossen, dass die endgültigen wissenschaftlichen Ergebnisse in der wohlbekanntesten dänischen Zeitschrift «Meddelelser om Groenland» publiziert werden sollen.

Tausende von Eisströmen nach dem Meer entsendet, von denen die sogenannten Schnellläufer Geschwindigkeiten bis gegen 30 m im Tag entfalten.

Nach den Ergebnissen der Echolotungen der französischen Grönlandexpeditionen (1948 bis 1953) wird das gesamte Eisvolumen des Inlandeises auf rd. 2,6 Mio km<sup>3</sup> geschätzt, bei einer mittleren Dicke von rd. 1500 m und einer grössten Mächtigkeit von rd. 3200 m. Wenn dieser Eiskuchen abschmelzen würde, so würde der Meeresspiegel um rd. 6 bis 7 m gehoben und das isostatische Gleichgewicht der nördlichen Hemisphäre würde eine Störung erfahren.

Diese wenigen Zahlen mögen dartun, dass dem Eishalt des grönländischen Inlandeises als des grössten Gletschers der Arktis eine lebenswichtige Bedeutung zukommt. Seine Erforschung interessiert deshalb nicht nur die Glaziologie, sondern die Erdkunde als Ganzes, insbesondere aber die Geophysik, Meteorologie, Hydrologie, Geologie und Ozeanographie, wobei u. a. auch die Betrachtung des Inlandeises als Klimatoskop, das auf den Wechsel der klimatischen Bedingungen der nördlichen Hemisphäre in empfindlicher Weise reagiert und deren Einflüsse über geologische Zeiträume integriert, erwähnt sei. Gerade diese Vielschichtigkeit der Problemstellung liess die Einsicht reifen, dass ein einzelnes Land weder fachlich noch finanziell in der Lage ist, die Pionierarbeit der eigentlichen Wegbereiter — man denke an Nansen, Drygalsky, Peary, de Quervain, Rasmussen, Koch, Wegener, Victor, Simpson u. a. — mit den heute der Wissenschaft zur Verfügung stehenden technischen Hilfsmitteln auf genügend breiter Basis fortzusetzen (Bild 1). Ein gemeinsames Ziel führte auch hier zur internationalen Zusammenarbeit: Eine Beobachtungsbrücke zu bauen zwischen zwei geophysikalischen Jahren, die sich in Abständen von 25 Jahren folgen oder, bescheidener gesagt, einen Brückenkopf zu erstellen, der späteren Generationen als Basismessung dienen kann. Ein Unternehmen, das einen starken Glauben in die Zukunft voraussetzt und nur gelingen kann, wenn auch die Brücken zwischen den forschenden Menschen verschiedener Sprache auf tragfähigem Boden ruhen.

Die in den Alpen, dank der Initiative von A. Forel, gewonnene Erfahrung, dass erst eine über viele Jahrzehnte sich erstreckende Beobachtungsreihe einen vertieften Einblick in das «Werden, Sein und Vergehen» eines Gletschers gewährt, bildet einen der Grundgedanken der Expedition. Der räumlich und zeitlich übergeordnete Massstab des grönländischen Inlandeises und seine entsprechend grössere Trägheit erlaubt es — im Gegensatz zur jährlichen Kontrolle der alpinen Gletscher — einen wesentlich grösseren zeitlichen Abstand zwischen den einzelnen Beobachtungen bzw. Expeditionen vorzusehen (acht bis zehn Jahre).

Das Rückgrat des in Bild 2 eingezeichneten Expeditionsgebietes bildet das West-Ost-Profil, das den in der Baie de Disko gelegenen «De-Quervainshavn» mit dem als «Cecilia Nunatak» bezeichneten Felsrücken nahe der Ostküste verbindet und dessen grösste Eismächtigkeit von rd. 3100 m bereits von den französischen Expeditionen her (1948 bis 1953) bekannt ist. Während der durch die Schollentheorie der Kontinente berühmt gewordene Geologe A. Wegener 1930/31 als erster in der Station Centrale überwinterter und sein Leben opferte [21], wird von der E. G. I. G. eine auf der Ostabdachung des Inlandeises auf rd. 2800 m ü. M. gelegene Stelle als Ueberwinterungsstation ausgebaut. Es ist die Station Dumont, in welcher im Winter 1956/57 von vier jungen, wagemutigen Franzosen im Einvernehmen mit dem Direktionskomitee der E. G. I. G. ein rd. 40 m tiefer Schrägschacht im Firn für zukünftige Untersuchungszwecke ausgehoben und bereitgestellt wurde (Expedition Dumont). Das oben erwähnte West-Ost-Profil wird im Firngebiet in Abständen

von je 10 km durch 10 m lange Schneepegel so markiert, dass die Pegel rd. 10 Jahre sichtbar bleiben<sup>3)</sup>. Mit Hilfe von zwei am Anfang und Ende der Dekade durchgeführten Expeditionen lassen sich dann die Höhen- und Lageänderungen der betreffenden Punkte sowie der mittlere jährliche Firnzuwachs bzw. die Ablation als wichtigste Elemente der Gletscherbewegung und der Massenbilanz des Inlandeises bestimmen (vgl. Bild 3).

Als notwendige Ergänzung zum West-Ost-Profil dient das rd. 300 km lange Nord-Süd-Profil (Bild 2), das am Rande des Firngebietes quer zu den grossen und kleinen Eisströmen verläuft, die zwischen 69° und 71°30' nördlicher Breite in die Disko-Bucht und den Umanak-Fjord münden und von denen der nördlichste (Kangerdlugssuaq) als Prototypus ganz besonders eingehend untersucht werden soll [4].

Der Beobachtung einzelner Profile und Eisströme liegt u. a. folgende Problemstellung zu Grunde: Wie gross sind Akkumulation (jährlicher Firnzuwachs) und Ablation (jährlicher Eisabtrag) und wie sind sie über das Inlandeis verteilt? Wie stark weicht die voraussichtlich defizitäre Massenbilanz vom stationären Zustand ab? Wie ändern sich die Höhen von Eisoberfläche und Felssockel? Ist unsere Hypothese richtig, dass im zentralen Teil des Inlandeises das Eis an der Unterlage festgefroren und damit die Erosion lokal unterbunden ist (vgl. Bild 3), während im Bereich der Eisströme das Eis auf dem Felssockel gleitet [9, 10]? Entsprechen unsere Auffassungen über die Temperaturverteilung im Inlandeis der Wirklichkeit [19]? Welche Bewegungsgrössen und Richtungen treten auf, wie verlaufen die Stromfäden und wie gross sind die Laufzeiten, die das Alter des Eises bestimmen? Welche Eismengen werden durch die Gletscher als Eisberge ins Meer ausgestossen und welche Wassermengen fliessen sub- oder interglazial den Fjorden zu?

### 3. Arbeitsprogramme und Methoden

Aus der allgemeinen Problemstellung ergeben sich für die einzelnen Arbeits- und Fachgruppen folgende Aufgaben:

#### 1. Vermessungsarbeiten in den Küstengebieten [3]

a) Geodätischer Anschluss des West-Ost-Profiles an die vorhandene dänische Vermessung an der Disko-Bucht bzw. am Umanak-Fjord im Westen und bei Cecilia Nunatak in Verbindung mit Ella  $\phi$  im Osten.

b) Photogrammetrische Bearbeitung des stark gegliederten Gebietes der Westküste für eine genaue Karte 1:250 000 bis zum Uebergang in die monotonen Firnflächen des Inlandeises. Genaue Kartierung des Kangerdlugssuaq-Gletschers zwecks Spezialuntersuchungen (1:100 000).

c) Luftphotogrammetrische Bestimmung der Fließgeschwindigkeiten der grossen Gletscherzungen durch das Gastland Dänemark [5, 6].

#### 2. Geodätische Messungen in den Profilen

Die geodätische Vermessung der Hauptprofile nach Höhe und Lage bildet die Grundlage für die Arbeit aller andern Fachgruppen. Infolge der sehr starken Störung der die Eisoberfläche direkt überlagernden Luftschichten konnten die bei den bisherigen Expeditionen angewendeten Methoden (trigonometrische und barometrische Höhenmessung) keine genügend genauen Resultate liefern. Daraus ergab sich für die neue Höhenbestimmung die Notwendigkeit, das klassische Nivellement mit wichtigen, speziell auf die Verhältnisse des Inlandeises zugeschnittenen Modifikationen [7] vorzusehen, was allerdings für die aus vier Geodäten bestehende Nivelliergruppe bei dem rd. 800 km langen Nivellement quer durch das Inlandeis eine physisch und psychisch ausserordentlich schwere Aufgabe darstellt, umso mehr, als sie in einem kurzen Grönlandsommer durchzuführen war.

Aehnlich schwierige Aufgaben stellen sich der Lage-messung, bei der die bisherigen Erfahrungen dazu führten, auf die Anwendung der klassischen Methode der Winkelmessung zu verzichten und an ihrer Stelle die moderne elektronische Streckenmessung mit Tellurometern anzuwenden, die

<sup>3)</sup> In verdankenswerter Weise hat es die SIPRE (Snow, Ice and Permafrost Research Establishment) übernommen, die noch von den französischen Expeditionen (P. E. Victor) erhaltenen Schneepegel zwischen C. VI und Station Centrale rechtzeitig zu verlängern (1956).



Bild 1 Ubersichtskarte 1:21 Mio von Grönland mit Expeditionsrouten (rechts unten Island).

mit elektromagnetischen Strahlen von 10 cm Wellenlänge arbeitet [8]. Ihr wesentlicher Vorteil besteht u. a. darin, dass zwischen den Streckenendpunkten keine direkte Sicht vorhanden sein muss, da sich die Radarwellen sanften Unebenheiten und damit auch der leicht gewellten Oberfläche des Inlandeises anschmiegen. Wesentlich ist ferner, dass die Messungen auch bei Nebel und im Gegensatz zu den elektrooptischen Entfernungsmessern (Geodimetern) bei Tage ausgeführt werden können. Die personelle und finanzielle Betreuung der geodätischen Arbeiten liegt bei Deutschland (Prof. Dr. R. Finsterwalder), ihr Leiter im Felde ist Dr. W. Hoffmann (München), während Prof. Dr. F. Kobold (ETH) die Leitung der Studiengruppe Geodäsie besorgt. Der geodätische Teilnehmer der Schweiz ist Ing. P. Gfeller.

#### 3. Geophysikalische Messungen

Das diesbezügliche Programm, das unter der Leitung von Prof. B. Brockamp (Münster i. Westfalen) von Deutschland und Frankreich gemeinsam durchgeführt wird, hat primär die Aufgabe, die von der Wegener-Expedition einerseits und den Franzosen ausgeführten Echolotungen andererseits zu verdichten, um durch seismische und gravimetrische Tiefenmessungen die Beziehung zwischen dem Verlauf des Felsuntergrundes und der Eisoberfläche abzuklären. Spezielle Messungen mit besonders feinen Apparaturen und grösseren Sprengladungen sollen über die Lage und eventuell die Struktur des Felssockels von Grönland auch in Beziehung zum benachbarten kanadischen Schild Aufschluss geben. Ferner soll versucht werden, auf Grund der bekannten Abhängigkeit der Geschwindigkeit der seismischen Wellen von

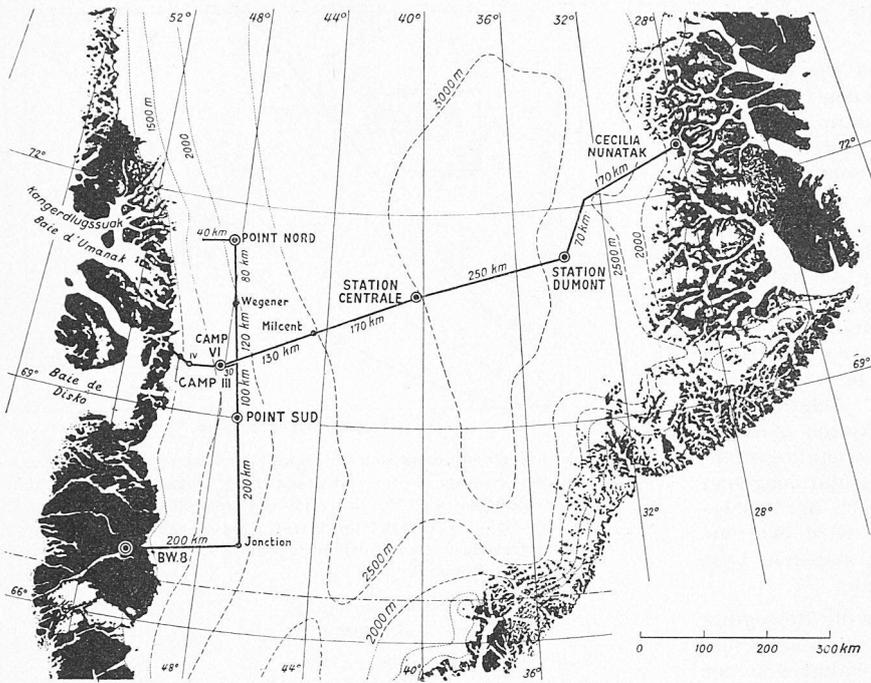


Bild 2 Situationsplan 1:12 Mio des Expeditionsgebietes. Man beachte die Lage der Ueberwinterungsstation Dumont, deren Eislabor für Dauerversuche eingerichtet ist. Der Jakobshavn-Gletscher (vgl. Bild 5 und 6) mündet knapp über dem 69° Breitengrad in die Baie de Disko.

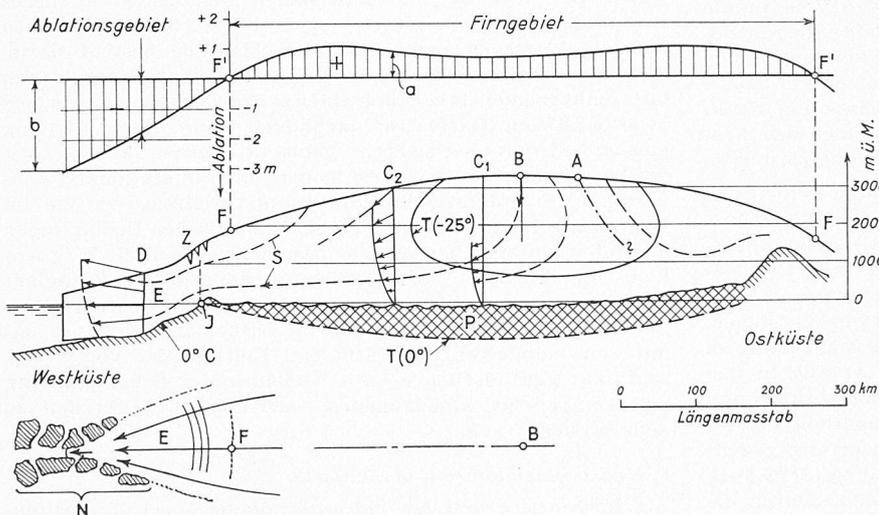


Bild 3 Schematischer Querschnitt durch das Inlandeis längs des West-Ost-Profiles (Bild 2). Ueberhöhung 1:50.

- |   |                             |   |
|---|-----------------------------|---|
| F Firnlinie   | A Eisscheide                | T (25°) —25° Isotherme nach Robin [19]                |
| S Stromlinie (Stromfaden)                                   | a Firnzuwachs in m pro Jahr | T (0°) 0° Isotherme                                   |
| C <sub>1</sub> , C <sub>2</sub> , D Geschwindigkeitsprofile | B Bewegungsscheide          | P Permafrost  |
| E Eisstrom  | b Ablation in m pro Jahr    | J Eintauchstelle der Null-Isotherme in den Untergrund |
| Z Spaltenzone   |                             |   |
| N Nunataks  |                             |   |

der Temperatur des Mediums, die Temperaturverhältnisse der tiefliegenden Eisschichten auf seismischem Wege zu erforschen (Bild 3).

#### 4. Meteorologische Beobachtungen

Meteorologische Beobachtungen werden nur soweit durchgeführt, als sie von den andern Fachgebieten, vor allem der Glaziologie, der Geodäsie und der Geophysik benötigt werden. Dazu gehören auch die in der Station Dumont über ein volles Jahr durchzuführenden Dauerbeobachtungen. In allen übrigen Expeditionsgebieten werden während der Kampagne die wichtigsten meteorologischen Elemente gemessen, sowie allgemeine meteorologische Beobachtungen gemacht. Die Vorbereitung dieser Arbeiten, die durch Prof. Brockamp, der schon an der Wegener Expedi-

tion teilnahm, geleitet werden, erfolgte durch Dr. Kopp (Bremen).

#### 5. Schneekundliche und glaziologische Arbeiten

Diese Arbeiten, die unter den wissenschaftlichen Zielen der Expedition naturgemäss eine zentrale Stellung einnehmen, werden von der Schweiz zusammen mit Frankreich und Oesterreich betreut. Die Programmgestaltung erfolgte durch die Gletscherkommission der S.N.G., das Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung und die Abteilung für Hydrologie der Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau an der ETH. Die Hauptbasis für die Feldarbeiten bildet neben Camp VI und der Station Centrale die Station Dumont, in welcher unter der Firnoberfläche ein Schnee- und Eislaboratorium erstellt wird, dessen natürliche Kühlung bei einer mittleren Firntemperatur von rd. —26° bedeutend weniger Schwierigkeiten bereiten dürfte als die Konstanthaltung der «Zimmertemperatur» in dem ebenfalls unter die Firnoberfläche versenkten, aus Kunststoffelementen in der Form eines 6 m hohen Igloos erstellten Wohnhauses für sechs Personen.

a) Die *schneekundlichen Probleme* werden nach einem von Dr. M. de Quervain, Davos, aufgestellten Programm durch die Gruppe de Quervain, Roch und Schneider bearbeitet. Diese Untersuchungen, bei denen die hauptsächlich in der Schweiz während den letzten 25 Jahren entwickelten Methoden zur Anwendung gelangen, dienen u. a. dazu, Menge und Eigenschaften der jährlichen Akkumulation an repräsentativen Stellen des West-Ost-Profiles festzustellen. Sie sollen ferner Aufschluss geben über die ohne Schmelzprozesse bei tiefer Temperatur (—25° bis —30° C) erfolgende Umwandlung des Schnees über den Polarfirn in das erst in Tiefen über 100 m anzutreffende Polareis und dessen im Laufe der Jahrtausende sich vollziehenden mannigfaltigen Metamorphosen, die schliesslich zum Eis der Randzone führen (Ablationsgebiet) [24].

b) Die mit dem *Spannungszustand* — der Verformung und *Bewegung des grönländischen Eisschildes* — zusammenhängenden Probleme rheologischer Natur werden von Ing. F. Brandenberger nach dem vom Verfasser dieses Aufsatzes aufgestellten Programm bearbeitet. Diese Studien stehen in enger Beziehung zu den im Innern der Eiskalotte auf dem Junfrauoch seit 1950 im Gange befindlichen Untersuchungen [9]. Die mechanischen und rheologischen Eigenschaften des Polarfirns werden einerseits in situ und andererseits in speziell dafür gebauten Apparaturen, im Kältelaboratorium der Station Dumont, das auch dem Kristallographen dient, untersucht. Neben der Bestimmung der Firn- und Eisbewegung soll ferner versucht werden, die Ursachen der das grönländische Inlandeis umschliessenden Spaltenzone, deren Breite bis 20 km beträgt, abzuklären. Schliesslich soll die in Bild 3 schematisch dargestellte Hypothese über die Bewegung des Inlandeises als Verformung einer hochviskosen Flüssigkeit, deren scheinbare Zähigkeit von Punkt zu Punkt ändert (Bild 4) überprüft werden, um dadurch einen kleinen Beitrag zum Verständnis der grossen Eisströme im Zusammenhang mit den Fragen der glazialen

Erosion und deren Anteil bei der Bildung der bis 200 km langen Fjorde zu leisten [10, 20] (Bild 5).

c) Die *Physik und Chemie von Firn und Eis* wird von Prof. A. Renaud (Lausanne) nach seinem eigenen Programm untersucht, das sich u. a. auch die Altersbestimmung zum Ziele setzt [11]. Werden aus einer gewissen Tiefe unter der Firnoberfläche Proben mit Hilfe von Sondierbohrungen entnommen, so kann auf Grund ihres Alters die mittlere jährliche Firnakkumulation berechnet werden. Die Datierung erfolgt durch die Bestimmung des Tritiumgehaltes, die sich bei einer Halbwertszeit von 12,5 Jahren für Altersklassen bis etwa 100 Jahre eignet. Die geschmolzenen Firn- und Eisproben werden zu diesem Zwecke in die Schweiz transportiert, wo sie im Physikalischen Institut der Universität Bern (Prof. Houtermans und Dr. Oeschger) sowie im Chemischen Institut der Universität Zürich (Prof. E. Schumacher) elektrolytisch konzentriert und der radioaktiven Analyse unterworfen werden. Zur physikalischen, kristallographischen und chemischen Untersuchung der im Ablationsgebiet entnommenen Eisproben werden dieselben nach der Ueberwinterungsstation (Dumont) befördert. Dort wird evtl. die in den Poren des Eises unter hohem Druck stehende Luft extrahiert und zur Altersbestimmung verwendet.

d) Auf Grund unserer Vorstellungen über die Bewegung des Inlandeises als einer unvollkommenen hochviskosen Flüssigkeit (die scheinbare Zähigkeit des Eises hängt von der kristallographischen Beschaffenheit, dem Spannungszustand und der Temperatur ab [12, 13], lässt sich zeigen, dass Eiskristalle, deren Ursprung in der zentralen Firnzone des Inlandeises, d. h. nahe der Bewegungsscheide liegt (Bild 3) und deren Bahn (Laufkurve oder Stromfaden) bis in die unmittelbare Nähe der Felsunterlage eintaucht, theoretisch ein Alter von über 100 000 Jahren erreichen können, bis sie ins Meer gelangen. Bei den Eisbergen handelt es sich somit wahrscheinlich zum Teil um Relikte der Eiszeiten, deren chemische Untersuchung einigen Aufschluss über den kosmischen Staub früherer geologischer Epochen liefern dürfte.

Die enorm langen Laufzeiten und das völlige Fehlen von Schmelzvorgängen im zentralen Firngebiet des Inlandeises könnten eines Tages eine eminent praktische Bedeutung erlangen, insbesondere im Zusammenhang mit dem Problem der Beseitigung der radioaktiven Abfallsubstanzen, die bei der friedlichen Verwendung der Atomenergie entstehen. Eines der interessantesten Projekte, die dieses Ziel verfolgen, sieht in der Deponierung der radioaktiven Abfälle in den zentralen Zonen der grossen Eisschilder der Arktis und Antarktis jene strengen Bedingungen an Sicherheit erfüllt, die man im Hinblick auf die schwere Verantwortung gegenüber unseren Nachkommen verlangen muss [14]. Schwierig erscheint dabei allerdings das Transportproblem. Durch die jährliche Akkumulation im Firngebiet und die rheologischen Eigenschaften des Eises sorgt die Natur nicht nur dafür, dass die unter der Firnoberfläche deponierten radioaktiven Substanzen allmählich in die Tiefe sinken, sondern auch dafür, dass sie erst nach Aeonen in das Gebiet der Schmelzvorgänge und später ins Meer gelangen, nachdem sie nach menschlichem Ermessen bei den hier in Frage stehenden Halbwertszeiten von einigen Jahrtausenden längst inaktiv und damit unschädlich geworden sind.

Unter der vereinfachenden Annahme einer mittleren «scheinbaren» Zähigkeit kann das Strömungsproblem des Inlandeises, innerhalb jener Zone, wo das Eis am Untergrund festgefroren ist, auf Grund der Grenzschichttheorie untersucht werden [15]. Dabei handelt es sich um eine sog. «schleichende Bewegung» mit sehr kleiner reduzierter Reynoldsscher Zahl ( $Re^* < 1$ ), bei der die Trägheitskräfte gegenüber den Reibungskräften vernachlässigbar sind. Die zentrale Zone, innerhalb welcher im Untergrund Permafrost vorherrscht und deshalb das Eis an der Unterlage festgefroren ist (Haftbedingung), dürfte ungefähr dem Gebiet innerhalb der Spaltenzone entsprechen, das weitaus den grössten Teil des Inlandeises ausmacht. Da die komplizierten Randbedingungen eine rein mathematische Lösung des Problems erschweren, so ist es von ganz besonderem Interesse, dass sich nach dem Prinzip von Hele-Shaw ein neuer exper-

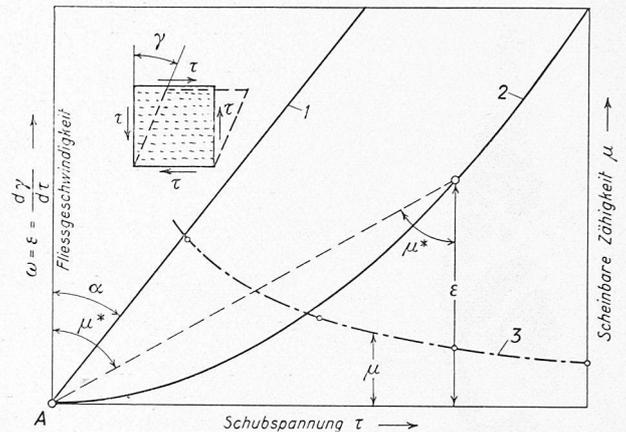


Bild 4 Verformungsgeschwindigkeit ( $\omega$  oder  $\epsilon$ ) von Eis in Funktion der Scherspannung  $\tau$  (Fließkurve). Definition der «scheinbaren Zähigkeit»  $\mu$ . Für kurzfristige Beanspruchungen verhält sich Eis wie ein elastischer fester Körper ( $E \sim 20\,000\text{ kg/cm}^2$ ), bei langfristiger Beanspruchung dagegen wie eine unvollkommene zähe Flüssigkeit.

- 1 Newtonische zähe Flüssigkeit  
 $\epsilon = \tau/\eta$ ;  $\eta = \text{Zähigkeit} = \tau/\epsilon = \text{tg } \alpha$
- 2 Polykristallines Eis:  
 $\epsilon \sim \kappa \cdot \tau^n$  (nach Glen) [12]
- 3 «Scheinbare» Zähigkeit von Eis:  
 $\mu = \tau/\epsilon = \text{tg } \mu^* \sim \tau^{1-n}/\kappa$ ;  $n \sim 2-4$

rimenteller Weg zur modellmässigen Demonstration dieses Strömungsvorganges öffnet, soweit die Strömung als eben betrachtet werden kann [16]. Die Methode besteht darin, dass man den zweidimensionalen Strömungsvorgang durch die «schleichende» Bewegung einer zähen Flüssigkeit zwischen zwei parallelen Glasplatten nachbildet, wobei durch Färbung einzelne Stromfäden sichtbar gemacht werden können. Mit diesem Modellversuch lassen sich nicht nur stationäre, sondern auch nichtstationäre Strömungsvorgänge, wie sie im Inlandeis z. B. unter dem Wechsel klimatischer Bedingungen auftreten, untersuchen. Ferner besteht eventuell die Möglichkeit, die Tatsache der örtlich veränderlichen Zähigkeit (Bild 4) durch örtliche Variation der Spaltbreite der Glasplatten wenigstens angenähert zu berücksichtigen, um damit zum mindesten qualitativ den Einfluss der von Punkt zu Punkt veränderlichen, mit zunehmender Scherspannung und Temperatur abnehmenden «scheinbaren» Zähigkeit zu demonstrieren [17].

## 6. Hydro-glaziologische Arbeiten

Im Vordergrund der *hydro-glaziologischen* Untersuchungen stehen die für das Studium der Massenbilanz des Inlandeises als Korrelat zur Akkumulationsmessung im Nährgebiet notwendige Ablationsmessung im Zehrgebiet; das zu diesem Zwecke von Ing. P. Kasser (ETH, Zürich) aufgestellte Programm umfasst folgende drei Teilziele [18]: A. Abschätzung der aus der Ablationszone des Expeditionsgebietes während der Schmelzperiode im Expeditionsjahr anfallenden Wassermenge; B. Bestimmung der Höhenlage der theoretischen Firnlinie des Expeditionsjahres durch Ablationsmessungen; C. Aufsuchen von Beziehungen zwischen Ablation, Abfluss und Witterung und Ermittlung von Korrelationen, die es ermöglichen sollen, aus meteorologischen Daten die Ablation für Gebiete und Zeitspannen abzuschätzen, aus denen zwar meteorologische Beobachtungen, aber keine Ablationsmessungen vorliegen.

Diese Arbeiten werden von Prof. A. Bauer (Frankreich) in Zusammenarbeit mit einem österreichischen Physiker durchgeführt, der sich besonders der Strahlungsmessung auf dem Eise und innerhalb desselben widmen wird, um dadurch Grundlagen für das Studium des Wärmehaushaltes der oberen Eisschichten zu gewinnen [19]. Dabei soll auch dem Phänomen des sog. «superimposed ice» (Eismassen, die durch Wiedergefrieren im Ablationsgebiet entstehen) nachgegangen werden. Zu den Aufgaben dieser Gruppe gehört ferner das Studium der Randmoränen.

Bild 5 Westgrönland, Jakobshavn. Isfjord. Geodätisches Institut Dänemark. Alle Rechte vorbehalten. — Blick gegen das Inlandeis, C = Horizont. Totale Länge des eisbedeckten Fjords rd. 35 km. Fjordbreite bei A rd. 7 km. Die starke Eisbedeckung des Fjordes (Verstopfung) ist, abgesehen von der enormen Aktivität des kalbenden Gletschers (am Rinkgletscher wurden Fließgeschwindigkeiten bis 27 m/Tag gemessen [22] durch die seeseitige Grundschwelle bedingt, welche die Eisberge erst ins offene Meer entlässt, wenn ihr Tiefgang infolge Ablation genügend klein geworden ist. Die Länge des bei B sichtbaren Eisberges beträgt rd. 1.5 km, seine grösste Höhe (inkl. Tiefgang) schätzungsweise 600 bis 800 m. Man erkennt, dass der Eisstrom weit aus dem Inneren des Inlandeises herausfließt.



Die jährliche Produktion an Eisbergen entspricht ungefähr der mittleren Jahreswassermenge des Rheins bei seiner Mündung ins Meer (50 km<sup>3</sup>/Jahr, bei Basel etwa 30 · 10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>/Jahr). Situation vgl. Bild 2.

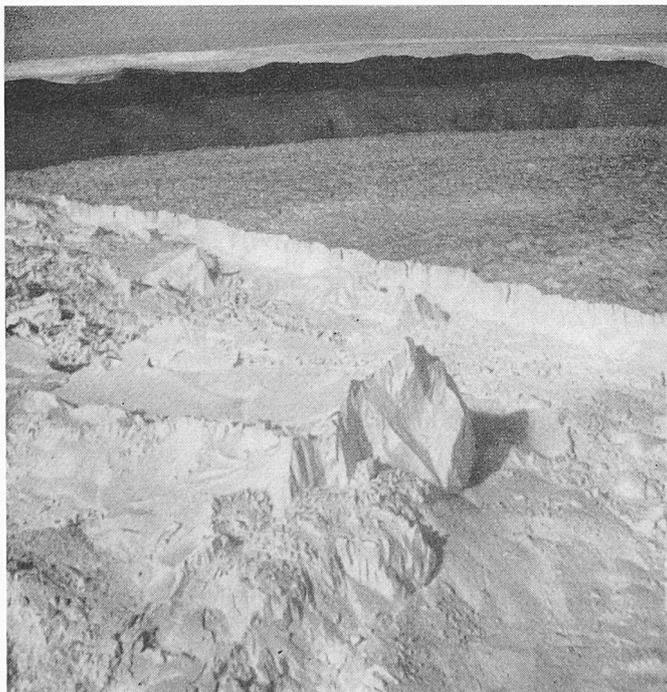


Bild 6 Front des Jakobshavn-Gletschers an der Disko-Bucht (Westküste, vgl. Bilder 2 und 5). Höhe der Front etwa 100 bis 130 m. Höhe des Eisbergs (rechts Bildmitte) über Meeresspiegel rd. 200 m. Der helle Felsstreifen im Hintergrund von etwa 300 bis 400 m Höhe lässt den letzten Hochstand des Gletschers erkennen, der wahrscheinlich dem Hochstand der alpinen Gletscher 1600/1850 entspricht. Aufnahme Peter Kasser, Ing. (1958). [23]

#### 7. Hydrologische und hydrographische Untersuchungen

Zur Durchführung dieser Arbeiten, für die der Kangerdlugssuaq gewählt wurde, weil dort die Kalbungswellen normalerweise kein gefährliches Ausmass erreichen, steht das deutsche Forschungsschiff «Gauss», das voraussichtlich Mitte Juli 1959 aus Hamburg auslaufen wird, zur Verfügung. Das von Dr. F. Nusser (Deutschland) und Prof. Berthois (Frankreich) bearbeitete Programm geht von folgender Problemstellung aus: Ermittlung der Schmelzwassermenge, die vom Kangerdlugssuaq-Gletscher dem gleichnamigen Fjord zugeführt wird. Da das Zungenende des Gletschers in den Fjord mündet, lässt sich die Aufgabe am besten mit ozeanographischen Methoden, d. h. durch eine hydrographische Aufnahme des rd. 60 km langen Fjordes durchführen. Dazu gehören auch die Auslotung und Vermessung des Fjordes, chemische und geologische Untersuchungen (Sedimentation) nebst den notwendigen meteorologischen Beobachtungen. Die hydrographische Aufnahme umfasst die Ermittlung der vertikalen und horizontalen Wasserbewegungen, sowie die Untersuchung des räumlichen Dichteaufbaues, während die Temperaturverteilung des Wassers bereits von einer früheren Expedition eingehend untersucht wurde.

Der deutsche Grönlandforscher E. Sorge [22], welcher die Geburt eines grossen Eisberges am Rinkgletscher (nördlicher Nachbar des Kangerdlugssuaq miterlebt hat, bezeichnet eine solche «Kalbung» als eines der gewaltigsten Naturschauspiele der Erde, etwa vergleichbar mit dem Ausbruch eines mächtigen Vulkans. Das Drama beginnt damit, dass sich einige hundert Meter hinter der senkrechten Gletscherfront ein mehr oder weniger parallel zu ihr verlaufender Riss bildet, durch den ein Wasservorhang als Fontäne bis zu 300 m Höhe emporschießt. Meistens legt sich dann der Eisberg, der z. B. bei dem an der Disko-Bucht (Bild 2) gelegenen

Jakobshavngletscher (Bild 5) die Grösse eines km<sup>3</sup> erreichen kann, auf die Seite, indem er gegen den Gletscher zu kippt. Das Meer gerät dabei derart in Aufruhr, dass die gefährlichen Kalbungswellen, die den ganzen, ca. 40 km langen Fjord durchheilen, eine Anfangshöhe bis rd. 30 m aufweisen.

Man kann sich die Mechanik einer solchen Kalbung etwa so erklären, dass der auf einer schiefen Ebene (Felssohle) ins Meer gleitende Gletscher von z. B. 800 bis 900 m Eismächtigkeit in der Nähe der Front einen Auftrieb erfährt, der schliesslich grösser wird als das Eigengewicht der betreffenden Eismasse. Durch die nach oben wirkende Resultierende wird die Gletscherzunge, die den Kontakt mit dem Felsuntergrund verliert, auf Biegung beansprucht. Beim Bruch stürzt das Wasser von unter her in die an der Gletschersohle sich öffnende, nach oben verjüngende Spalte. Die lebendige Kraft der in die Spalte mit grosser Beschleunigung einströmenden Wassermassen erzeugt unter der drosselnden Wirkung der als Düse wirksamen Spaltenöffnung die oben erwähnte Fontäne — ein Vorgang, der einem «coup de Belier» vergleichbar ist.

#### IV. Schlussbemerkung

Die Idee einer gemeinsamen Expedition darf sich nicht mit dem Ziel einer internationalen Zusammenarbeit auf lange Sicht und auf breiter Basis begnügen. Wichtiger noch als die Entwicklung in der Horizontalen ist die in der Vertikalen. Hier geht es um jene Vertiefung der Naturbetrachtung, die im Erlebnis der in der Natur offenbarten Schöpfungsgedanken wurzelt, und welche uns immer von neuem dazu auffordert, die von den Fachwissenschaften beleuchteten Teilaspekte des zu erforschenden Objektes im Rahmen einer übergeordneten organischen Ganzheit zu sehen. Diese Teilaspekte sind etwa den sieben Spektralfarben, die Goethe als die «Taten und Leiden des Lichtes» bezeichnet hat, zu vergleichen.

Ein offenkundiger Mangel des wissenschaftlichen Programmes der E.G.I.G. besteht zweifellos darin, dass gerade die Geologie, in der doch die Glaziologie beheimatet ist, zu kurz kommt, indem auf die so wichtige Mitarbeit des Glazialgeologen und auf die Erforschung des Periglazials verzichtet werden musste, weil sich Dänemark aus begreiflichen Gründen diese Aufgabe vorbehält.

Abschliessend darf gesagt werden, dass bei denjenigen Stellen, welche durch die Beschaffung der Kredite die Verwirklichung der Expedition ermöglichten und denen wir an dieser Stelle unsern Dank aussprechen möchten, die Sorge um den glaziologischen Nachwuchs im Vordergrund stand, wobei es sich sowohl um Naturwissenschaftler, wie um junge, in die Schneekunde und die Glaziologie einzuführende Ingenieure handelt.

Die sehr enge Verbindung zwischen Naturbeobachtung, Experiment in situ, Laborversuch und Theorie, die in der modernen Glaziologie (ähnlich wie in der Schnee-, Boden- und Felsmechanik) immer mehr an «Boden» gewinnt, erstrebt eine Schulung, welche das Vorstellungsvermögen und das vielfach noch in allzu starren Bahnen gefangene Denken des jungen Technikers durch das Erleben des Begriffes «Metamorphose» plastischer, lebendiger und damit wirklichkeitsnäher zu gestalten versucht. Auch der von Prof. P. Niggli gegebene lapidare Hinweis, dass die Verformung des polykristallinen Eises (bei den im Gletscher vorherrschenden Temperaturen in der Nähe des Schmelzpunktes) der Warmverformung der Metalle zu vergleichen sei, birgt Entwicklungsmöglichkeiten in sich, die nicht nur den Glaziologen, sondern ebenso sehr den Metallurgen wie auch den Geologen, Mineralogen und Tektoniker interessieren.

Adresse des Verfassers: Prof. Dr. R. Haefeli, Ing., Susenbergstrasse 193, Zürich 44.

#### Literatur

[1] Expédition glaciologique Internationale au Groenland. «Bulletin d'Information de l'Association Internationale d'Hydrologie Scientifique (A. I. H. S.)» No. 2, 1956. Organisation de l'E. G. I. G. «Bulletin de l'A. I. H. S.» No. 6, 1957.

- [2] R. Haefeli: Internationale glaziologische Grönlandexpedition. Wissenschaftliche Ziele. «Bulletin d'Information A. I. H. S.» No. 2, 1956.
- [3] R. Finsterwalder: Polarforschung und Int. Glaziologische Grönlandexpedition 1957—60. Bayrische Akademie der Wissenschaften, Sonderdruck 5 (1958).
- [4] W. Hofmann: Die Internationale Glaziologische Grönlandexpedition 1959/60. Vorbereitung und Erkundungen. «Naturwissenschaftliche Rundschau», Mai 1958.
- [5] W. Hofmann: Bestimmung der Gletschergeschwindigkeiten aus Luftbildern. «Bildmessung und Luftbildwesen» H. 9, 1958.
- [6] R. Finsterwalder: Measurement of Ice Velocity by Air Photogrammetry. Int. Association of Scientific Hydrology, Symposium of Chamonix. 16—24 Sept. 1958.
- [7] H. Lichte: Geodätische Messungen auf dem grönländischen Inlandeis. «Zeitschrift für Vermessungswesen» 1957, S. 46.
- [8] W. Hofmann: Lagemessungen bei der Int. Grönlandexpedition 1959. «Z. f. Vermessungswesen», S. 216, 1958. Derselbe: Die freie Diagonalen-Viereckkette mit direkt gemessenen Strecken. «Z. f. Vermessungswesen» H. 9, 1958.
- [9] R. Haefeli und F. Brentani: Observations in a cold ice cap. Journal of Glaciology», Vol. 2, No. 18 and 19 (1955/56). (VAWE-Mitt. No. 37).
- [10] R. Haefeli: Le projet de la participation de la Suisse à l'Expédition glaciologique Int. au Groenland. «La Suisse Horlogère» No. 20 (1957).
- [11] A. Renaud: La participation de la Suisse à l'Expédition glaciologique internationale (E. G. I. G.) 1957—61.
- [12] J. W. Glen: Experiments on the deformation of Ice. Journal of Glaciology Vol. 2, 1952, No. 12, p. 111—114.
- [13] S. Steinemann: Experimentelle Untersuchungen zur Plastizität von Eis. Promotionsarbeit ETH Zürich 1958.
- [14] B. Philbert: Beseitigung radioaktiver Abfallsabstanzen. «Atomkern-Energie», H. 11/12, 1956.
- [15] H. Schlichtung, Grenzschichttheorie (Auflage 1958).
- [16] H. S. Hele-Shaw: Investigation of the nature of the surface resistance of water and of stream-line motion. Transaction of the Institution of Naval Engineers. 1898, p. 21.
- [17] R. Haefeli: Creep Problems in Soils, Snow and Ice. Proceedings of the Third Int. Conference on soil mechanics and foundation Engineering 1953. Vol. III (VAWE-Mitt. No. 31).
- [18] P. Kasser: Programm für Ablationsmessungen in Grönland anlässlich der E. G. I. G. «Bulletin d'Information de l'Association Int. d'Hydrologie Scientifique» No. 2, 1956.
- [19] G. de Q. Robin: Ice movement and temperature distribution in glaciers and ice sheets. «Journal of Glaciology» Vol. 2, No. 18, 1955, p. 523—32.
- [20] R. Haefeli: Gletscherschwankung und Gletscherbewegung. SBZ No. 42 (1955) und No. 44 (1956), (VAWE-Mitt. No. 40).
- [21] J. Georgi: Im Eis vergraben. Erlebnisse auf Station «Eismitte» der letzten Grönlandexpedition Alfred Wegeners (1957).
- [22] E. Sorge: Mit Flugzeug, Faltboot usw. in den Eisfjorden Grönlands. 1933.
- [23] A. Weidick: Glacial variations in West Greenland in historical time. Part I, Southwest Greenland Meddeler om Grönland Bd. 144, No. 4, 1959.
- [24] H. Bader: Sorge's Law of densification of snow on high Polar glaciers. «The journal of Glaciology», 1954, No. 15, p. 319—323.

## Grundsätzliches zu Modellversuchen an hydraulischen Maschinen

DK 621.242.0015

Von Dr. h. c. K. Rütschi, Brugg

Anlässlich der Diskussionsversammlung vom 13. Febr. 1959 an der ETH in Zürich über Modellversuche an hydraulischen Maschinen zeigte sich erneut, dass die Meinungen über die Frage nach einer geeigneten Aufwertungsformel noch stark auseinandergehen. Je nach Grösse der verwendeten Modellräder benützen die Turbinenbauer z. T. eigene Formeln, die zur Hauptsache zwischen der von Ackert

$$\frac{1 - \eta}{1 - \eta_v} = 0,5 + 0,5 \left( \frac{Re_v}{Re} \right)^{0,2} \quad 1)$$

und der von Moody

1) Zu fast gleichen Ergebnissen kommt man mit der früheren

$$\text{Pfleiderer-Formel} \quad \frac{1 - \eta}{1 - \eta_v} = \left( \frac{Re_v}{Re} \right)^{0,1}$$