

# Frostdynamik und Permafrost in eisfreien Gebieten der Antarktischen Halbinsel

Von Dietrich Barsch und Gerhard Stäblein\*

**Zusammenfassung:** Aus Geländebeobachtungen des periglazialen Formenschatzes (Frostmuster, Frosthänge und Blockgletscher) und aus Klimawerten des Frostklimas im weiteren Bereich der Antarktischen Halbinsel wird abgeleitet, daß kontinuierlicher Permafrost vorhanden ist bereits bei Jahresmitteltemperaturen um  $-2^{\circ}\text{C}$ . Für die Fildeshalbinsel auf der König-Georg-Insel wurde die Frosteintrittstiefe mit 200 cm und die Tautiefenringtiefe mit 110 cm berechnet; die jährlichen Temperaturminima erreichen hier Werte von nur  $-20^{\circ}\text{C}$ . In der niederen ozeanischen Antarktis folgt aus den besonderen klimatischen Verhältnissen eine eigene Ausprägung des periglazialen Geosystems mit einer besonderen geomorphologisch wirksamen Frostdynamik. Die Ansätze zur regionalen Modellbildung werden weiter verfolgt, da die aus der Arktis bisher abgeleiteten periglazialen Theorien unzureichend sind für die regionale Erklärung im Periglazial der Antarktis.

**Summary:** From field studies of periglacial relief forms (frost patterns, frost slopes and rock glaciers) and climatic data of the frost climate in the area of the Antarctic Peninsula and its surroundings, it is derived that continuous permafrost already occurs at a mean annual air temperature of  $-2^{\circ}\text{C}$ . A freezing depth of 200 cm and a thawing depth of 110 cm are calculated for Fildes Peninsula on King George Island; there the annual minima of temperatures reach values of only  $-20^{\circ}\text{C}$ . In the lower oceanic Antarctic where special climatic conditions are found, a special type of periglacial geosystem exists with geomorphic effected cryodynamics. The approaches to regional modelling are to be further developed because the theories of periglacial arctic environments are not sufficient for regional explanation in the periglacial Antarctic.

## 1. EINLEITUNG UND FORSCHUNGSSTAND

Trotz der stark angewachsenen wissenschaftlichen Antarktiliteratur, die neben den überwiegend geophysikalischen, glaziologischen, geologischen oder biologischen Fachgebieten auch die Geomorphologie umfaßt (z. B. NICHOLS 1966, DUPHORN 1981, MIOTKE 1982, STÄBLEIN 1983 u. a.), sind die geomorphologischen Verhältnisse der Antarktis im Gesamtzusammenhang und als Geosystem, d. h. unter einem quantitativen Ansatz mit Parametrisierung von Regelkreisen, noch immer wenig systematisch untersucht. Das gilt sowohl hinsichtlich der Gestaltung und Formung des subglazialen und des submarinen Reliefs, aber auch in Bezug auf die Formung der heute eisfreien, als periglazial zu umschreibenden Bereiche, die ungefähr 2—5% der rd. 14 Mio. km<sup>2</sup> des antarktischen Kontinents unter Einschluß der Inseln innerhalb der antarktischen Konvergenz des Meerwassers ausmachen.

Die heute eisfreien Flächen finden sich — abgesehen von den meist steiflankigen Nunatakkern und Gebirgsketten, die das Inlandeis durchragen — vor allem im Bereich des Victoria-Landes und der Antarktischen Halbinsel. Auf der Antarktischen Halbinsel und auf den ihr zuzurechnenden Inseln (Abb. 1) haben wir anläßlich einer ersten Reconnaissance-Reise im Südsommer 1981/82 Beobachtungen und Voruntersuchungen zum Problemkreis Frostdynamik und Permafrost durchgeführt. Sie seien im folgenden mitgeteilt und diskutiert; sie sind zugleich Grundlage und Ausgangspunkt für die weiteren Untersuchungen, die sich in den beiden folgenden Jahren (1983/84 und 1984/85) anschließen.

## 2. KLIMA DER ANTARKTISCHEN HALBINSEL UND DER SÜDSHETLAND-INSELN

Im Gegensatz zu dem extrem kontinental getönten Klima im Bereich des antarktischen Eisschildes mit ex-

\* Prof. Dr. Dietrich Barsch, Geographisches Institut der Universität, Im Neuenheimer Feld 348, 6900 Heidelberg.  
Prof. Dr. Gerhard Stäblein, Geomorphologisches Laboratorium der Freien Universität, Altensteinstr. 19, 1000 Berlin 33.

Im Südsommer 1981/82 haben die Autoren die Antarktische Halbinsel und die vorgelagerten Süd-Shetland-Inseln zur Vorbereitung eines größeren geomorphologischen Projektes bereisen können. Dank gebührt dabei vor allem dem Alfred-Wegener-Institut für Polarforschung, das den Reiseteil von Dietrich Barsch finanzierte, sowie der Akademie der Wissenschaften zu Göttingen, die Gerhard Stäblein unterstützt hat.

Der hier vorgelegte Aufsatz ist die erweiterte Fassung eines Vortrages, der auf der Tagung der Deutschen Gesellschaft für Polarforschung 1983 in Bamberg gehalten worden ist.

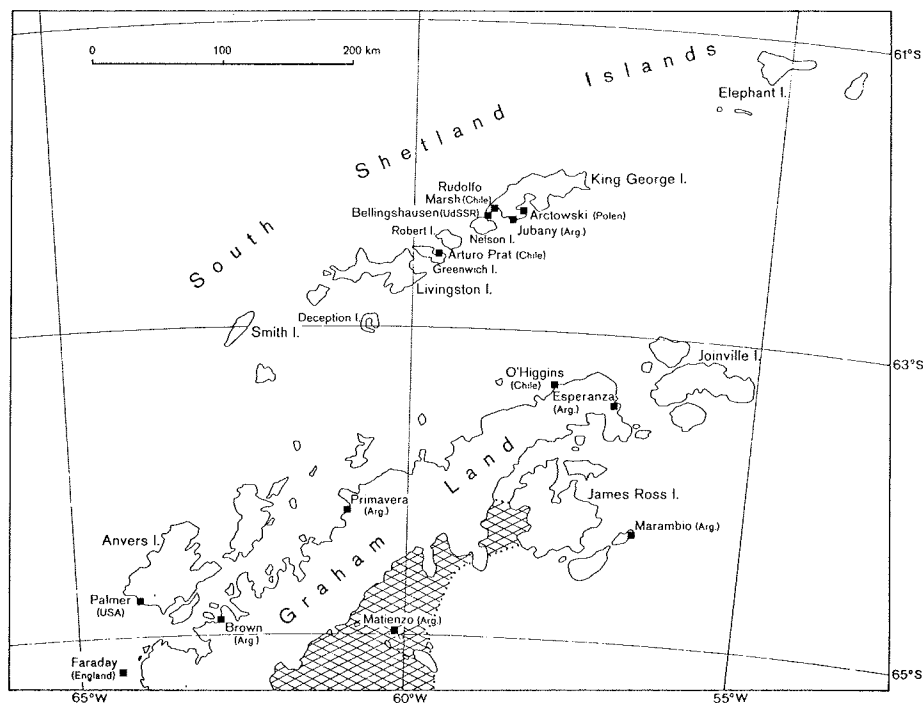


Abb. 1: Übersichtskarte der Untersuchungsgebiete, Südshetlands und Antarktische Halbinsel.

Fig. 1: Study area, South Shetland Islands and Antarctic Peninsula.

trem tiefen Temperaturen bis minimal  $-88^{\circ}\text{C}$  (Wostock) und häufig sehr hohen Windgeschwindigkeiten sind die Antarktische Halbinsel und vor allem die vorgelagerten Inseln stark maritim geprägt (vgl. Abb. 2): Bei Jahresmitteltemperaturen zwischen  $-6$  und  $-2^{\circ}\text{C}$  beträgt die Jahresschwankung der Temperatur an der meteorologischen Station „Eduardo Frei“ (chilenische Basis Teniente Marsh/König-Georg-Insel) nur  $8-10^{\circ}\text{C}$  (Differenz August/Februar); die Niederschläge sind mit  $400\text{ mm}$  pro Jahr relativ hoch; auf Winde mit Geschwindigkeiten zwischen  $10$  und  $14\text{ m/s}$  ( $= 6\text{ Bft.}$ ) entfallen rd.  $25\%$  der Beobachtungen.

Für die Periode ab 1970 werden absolute Maxima für die Lufttemperatur bis  $+8,7^{\circ}\text{C}$ , absolute Minima bis  $-23,2^{\circ}\text{C}$  angegeben. Generell liegen die Monatsmittel im Dezember bis März im positiven Temperaturbereich, die übrigen im negativen.

Aufgrund der klimatischen Verhältnisse ist das Gebiet vor allem durch relativ leichte Fröste (jährliche Minimaltemperaturen um  $-20^{\circ}\text{C}$ ) und im Sommer durch zahlreiche Frostwechsel (z. B. 1979: 124 Frostwechseltage, Abb. 2) gekennzeichnet. Im Gegensatz zu weiten Bereichen der Antarktis, in der die Zahl der Frostwechseltage im allgemeinen sehr niedrig ist, zeichnet sich das Gebiet von Teniente Marsh dadurch aus, daß Frostwechseltage (bezogen auf die Lufttemperatur an der Meteorologischen Station Eduardo Frei) in jedem Monat auftreten können. Wir finden hier — vor allem im Küstenbereich der Antarktischen Halbinsel und auf den Inseln — hochozeanische Verhältnisse, wie wir sie in der Arktis, also auf der Nordhalbkugel, kaum kennen.

Die klimatische Schneegrenze, abgeleitet aus der unmittelbar im Gelände beobachtbaren Vergletscherungsgrenze und Gleichgewichtslinie, liegt um  $130\text{ m ü. M.}$  auf der König-Georg-Insel und wenige Dekameter über dem gegenwärtigen Meeresspiegel im S der Antarktischen Halbinsel. Damit sind auch auf der

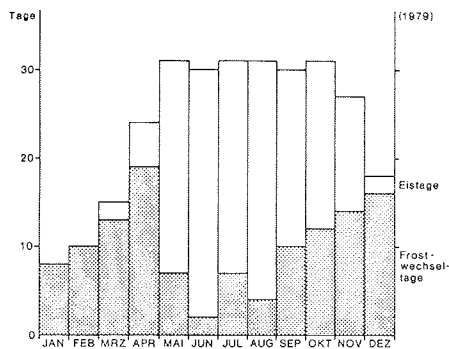
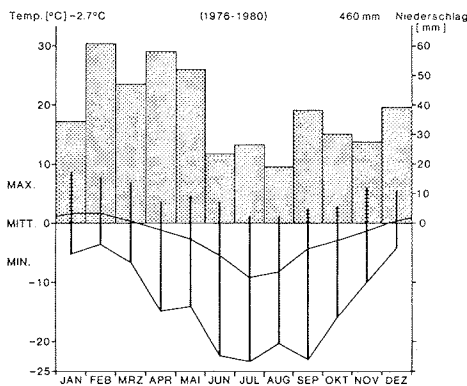


Abb. 2: Klimadiagramm (1976—1980, mittlere monatliche Niederschläge, Monatsmitteltemperaturen sowie absolute Maxima und Minima der Lufttemperatur) und Frostwechsel-tage (1979) für die chilenischen meteorologischen Station Eduardo Frei, Basis Teniente Marsh, Fildeshalbinsel auf der König-Georg-Insel/Südshetlands.

Fig. 2: Climatic diagram (1976—1980, mean monthly precipitation values, mean monthly air temperatures, absolute maxima and minima of air temperatures) and frost change days (1979) of the Chilean meteorological station Eduardo Frei, Basis Teniente Marsh, Fildes Peninsula, King George Island, South Shetland Islands.



Halbinsel weite Gebiete vergletschert mit Eisbedeckung bis zur Küste, so daß hier ebenfalls nur kleine Flächen aktuell periglazial gestaltet werden. Es finden sich z. B. auf der König-Georg-Insel sehr gut erhaltene Strandwälle und Strandlinien bis 60 m und mehr über dem heutigem Meeresspiegel (z. B. Potter Cove), so daß mit recht jungen, postglazialen Landhebungen zu rechnen ist. Diese jung gehobenen Gebiete haben nach der marinen nur eine periglaziale Überformung erfahren, so daß hier eine Abschätzung des kryogenen Wirkungsgefüges hinsichtlich seiner Effektivität möglich wird.

Diese hochozeanischen, periglazialen Verhältnisse sind eine regionale und zonal-globale Besonderheit. Ihre Untersuchung mit einem prozessualen quantitativen Ansatz als Geosysteme erlaubt ganz neue Einsichten in das Wirken kryogener Prozesse unter speziellen Randbedingungen. Dabei geht es um die Ableitung eines Modells, dessen Regelgrößen und dessen Parameterbeziehungen als Funktionen theoretisch geophysikalisch und empirisch geomorphologisch faßbar werden. Für die Beziehung von Periglazialklima, Kryodynamik und Permafrost wird dieser Ansatz hier angewandt auf noch schmalere Beobachtungs- und Datenbasis; weitere Felduntersuchungen werden differenziertere Modellrechnungen möglich und notwendig machen.

### 3. PERMAFROST UND PERIGLAZIALE VERHÄLTNISSE

Zur Frage des Auftretens von Permafrost liegen von der Halbinsel und von den vorgelagerten Inseln noch keine detaillierten Untersuchungen vor, wenn man von einigen Hinweisen in der Literatur absieht (z. B. CORTE 1983, DUTKIEWICZ 1982). In den verschiedenen Relieflagen haben wir in eisfreien Gebieten Permafrost im Untergrund angetroffen und durch Sondierungen nachweisen können, wobei die Tiefe des gefrorenen Untergrundes zwischen 20 und 150 cm schwankte. Wir haben zusätzlich für die Beurteilung der Permafrostverbreitung auf Formeln zur Berechnung zurückgegriffen, die die Frost- bzw. die Taueindringtiefe als Funktion des Porenvolumens des (ungefrorenen bzw. gefrorenen) Bodens, seiner Wärmeleitfähigkeit und der Dauer sowie der Temperatur der Frostperiode berechnen (Abb. 3). Die Formeln sind von BARSCH (1977) bereits zur Bestimmung des alpinen Permafrostes verwendet worden und konnten dort durch Geländeuntersuchungen bestätigt werden. Wenn auch die generelle Übertragung dieser Formeln auf polare antarktische Verhältnisse bisher nicht im einzelnen empirisch bestätigt werden kann, so sind sie doch für eine erste Abschätzung auch in diesen Regionen geeignet, zumal die theoretischen, geo-

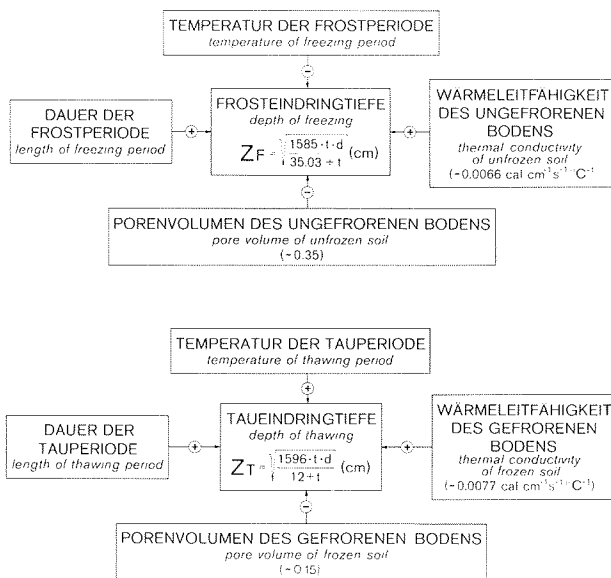


Abb. 3: Schema zur Berechnung von Frost- bzw. Tautiefendringtiefe, die positive bzw. negative Korrelation an.  $t$  = Betrag der durchschnittlichen Temperatur der Frost- bzw. der Tauperiode in  $^\circ\text{C}$ ;  $d$  = Dauer der Frost- bzw. Tauperiode in Tagen.

Fig. 3: Schematic diagram for the calculation of the depths of freezing and thawing, the signs showing the positive and negative correlation.  $t$  = value of the average temperature of the freezing and thawing period resp. in  $^\circ\text{C}$ ;  $d$  = duration of the freezing and thawing period resp. in days.

physikalischen Gesetzmäßigkeiten als allgemein gültig anzusehen sind und es sich um für antarktische Verhältnisse so extrem ozeanisch geprägte Gebiete wie die König-Georg-Insel handelt, deren thermisch-hygrische Charakteristik mit alpinem Klima in Bezug auf die hier betrachteten Parameter vergleichbar erscheint.

Die Ergebnisse der Berechnung sind in Tab. 1 zusammengefaßt. Es ergeben sich für die Frosteindringtiefe ( $ZF = 200 \text{ cm}$ ) und die Tautiefendringtiefe ( $ZT = 110 \text{ cm}$ ) unterschiedliche Werte, damit eine „Frost-Tautiefendifferenz“ von  $90 \text{ cm}$ . Aus diesen Werten ist ein deutlicher Überschuß der Frosteindringtiefe und damit die generelle Möglichkeit für die Bildung und Erhaltung von Permafrost bei mittleren Auftautiefen um  $1 \text{ m}$  abzuleiten.

Da leider an den meisten Stationen keine Bodentemperaturen gemessen werden, ist man für weitere Aussagen auf abgeleitete Berechnungen und beobachtbare geomorphologische Indikatoren angewiesen. Eiskeilnetze oder Tundrapolygone, die charakteristisch für Gebiete mit kontinuierlichem Permafrost in der Arktis sind (vgl. SCHUNKE 1977, KARTE 1983), wurden im Untersuchungsgebiet nicht beobachtet (vgl. auch ARAYA & HERVE 1972). Solche Frostbodenformen werden als Folge extremer Kontraktionen von Boden oder Fels bei sehr niedrigen Wintertemperaturen und geringer Isolation durch eine nur gering-

FROSTPERIODE								
Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	
-2,38	-4,94	-6,36	-5,00	-6,78	-3,98	-1,64	-0,52 ( $^\circ\text{C}$ )	
Durchschnitt: $-3,95 \text{ (}^\circ\text{C)}$								Dauer: 244 (Tage)
Frosteindringtiefe: $ZF = \text{rd. } 200 \text{ cm}$								
TAUPERIODE								
Dez	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug
			+0,72	+1,06	+1,20	+0,20		
Durchschnitt: $+0,80 \text{ (}^\circ\text{C)}$								Dauer: 121 (Tage)
Tautiefendringtiefe: $ZT = \text{rd. } 110 \text{ cm}$								

(nach Werten 1970—1974, Unterlagen des Instituto Antartico Chileno / Santiago)

Tab. 1: Temperaturen der Frost- und der Tauperiode, sowie der daraus berechneten Frost- bzw. Tautiefendringtiefe für die Station Eduardo Frei, chilenische Basis Teniente Marsh auf der König-Georg-Insel / Südshetlands.

Tab. 1: Temperatures of the freezing and thawing period, and the calculated depths of freezing and thawing of the Eduardo Frei station, Chilean Basis Teniente Marsh on King George Island / South Shetland Islands.

mächtige Schneedecke gedeutet.

Daß solche Formen im Untersuchungsgebiet nicht auftreten, liegt daran, daß die entsprechenden Reliefstandorte und die notwendigen klimatischen Bedingungen fehlen, aber auch die zur Bildung günstigen Substrate selten sind. Die durchschnittliche Summe der Schneeniederschläge liegt auf der Fildeshalbinsel (König-Georg-Insel) bei nur 2—5 mm (Meteorologische Station Eduardo Frei). Da die winterliche Schneedecke nach verschiedenen Berichten auch auf der Antarktischen Halbinsel aufgrund von Verwehungen auf flachen Oberflächen meist nicht mächtig ist, darf geschlossen werden, daß nicht die thermische Oberflächenisolation durch Schnee, sondern die Wintertemperaturen überhaupt, d. h. die winterlichen Bodenabkühlungen mit extrem niedrigen Temperaturen um  $-40^{\circ}\text{C}$ , nicht erreicht werden und damit dies den eigentlichen Mangelfaktor bezüglich der Ausbildung dieser Frostbodenformen darstellt.

Beobachtet wurden dagegen aktive, große, sortierte Steinkreise (Strukturböden) mit Durchmessern von mehr als einem Meter. Sie sind echte Permafrostindikatoren und wurden in dieser Form bisher nur in Gebieten mit kontinuierlichem Permafrost beobachtet (z. B. in Spitzbergen vgl. POSER 1931; WASHBURN 1979, KARTE 1983). Allerdings treten sie verstärkt nur in besonderen „Gunstlagen“, d. h. in Senken oder auf Sätteln (Paßlagen), auf. Auch die gelegentlich zu beobachtende spezielle Form der „Amundsenringe“ (Abb. 4) ist zumindest z. T. aktiv. Die aktiven Frostmusterformen wie auch die häufig auftretenden Vernässungssenken der Auftauschicht in Lockersedimenten sind nur aus einem Infiltrationsstau durch eine Frosttafel im Untergrund erklärlich und weisen somit auf Permafrost hin.

Sie belegen ebenso wie die Glatthangformung, die Kryosolifluktion und die asymmetrischen Talquerschnitte, die für periglaziale Talformung typisch sind (z. B. oberhalb der polnischen Station Arctowski, vgl. Abb. 5), und wie die Frostbodenformen der Steinstreifen, Solifluktionsterrassen und Steinpolygone aktive, voll wirksame periglaziale Verhältnisse.

Über die Intensität der Frostverwitterung läßt sich noch wenig aussagen. Zwar bieten Frostwechselhäu-

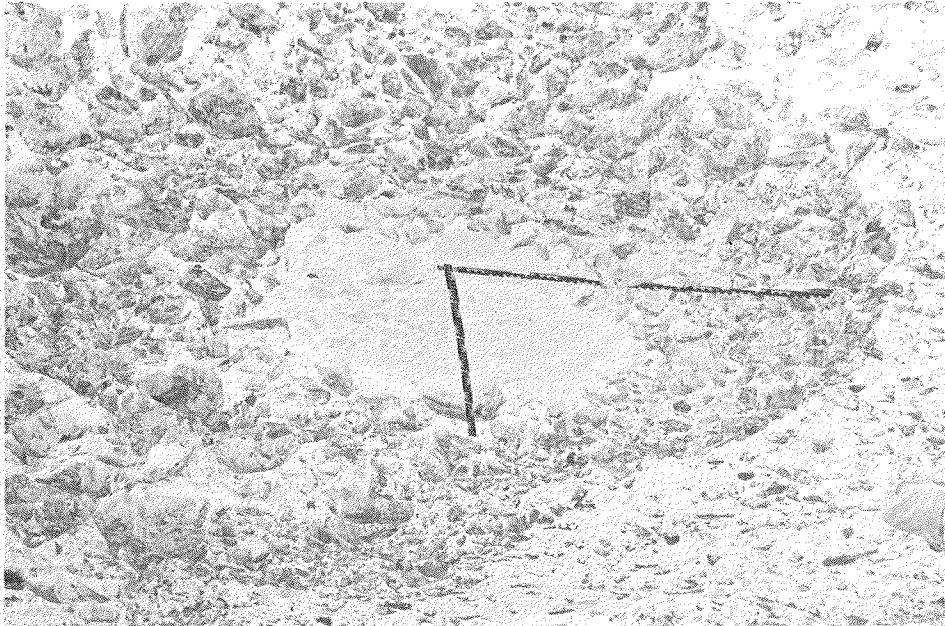


Abb. 4: „Amundsenringe“, sortierte Steinkreise auf der Fildeshalbinsel, König-Georg-Insel/Südshetlands.

Fig. 4: "Amundsen rings", sorted circles on Fildes Peninsula, King George Island, South Shetland Islands.



**Abb. 5:** Asymmetrisches Periglazialtal mit geglätteten Hängen bei der polnischen Station Arctowski an der Admiralitätsbucht, König-Georg-Insel/Südschettlands.

**Fig. 5:** Asymmetrical periglacial valley with smoothed slopes near Polish station Arctowski, Admiralty Bay, King George Island, South Shetland Islands.



**Abb. 6:** Frostverwitterung und kryoklastische Kliffbildung bei der chilenischen Station Arturo Prat der Greenwich Insel/Südschettlands.

**Fig. 6:** Frost weathering cryoclastic cliff formation near the Chilean station Arturo Prat, Greenwich Island, South Shetland Islands.

figkeit und Feuchtigkeit günstige Voraussetzungen für eine intensive isoklastische Materialzerlegung durch Frost, doch fehlen die tiefen Temperaturen, die für eine intensive tiefergreifende Felszerlegung notwendig sind. Trotzdem treten Blockhänge auf. An den Hängen der Admiralitätsbucht auf der König-Georg-Insel bei Punkt Hennequin konnten sogar Blockgletscher von mehreren hundert Meter Breite beobachtet werden, die bis zur Küste aktiv vorstoßen. Häufig sind auch die ehemals glazial überschliffenen Felsflächen bereits stark durch Frostverwitterung angegriffen. Steht Salzwasser zur Verfügung, dann findet sich eine recht starke, ja sogar überraschend starke isoklastische Gesteinszerlegung, wie Beobachtungen von Arturo Prat (Abb. 6) belegen (vgl. BLÜMEL 1971).

Frost und Salzwasser (vgl. PITY 1971) zusammen mit Meereisbildung und mariner Abrasion sind offensichtlich nicht nur für die großen Kliffbildungen, sondern vor allem auch für die Entwicklung kilometerbreiter Abrasionsplattformen im Niveau des heutigen Meeresspiegels verantwortlich (Abb. 7, vgl. STÄBLEIN 1980).

Überraschend ist jedoch, daß sich trotz der stellenweise kräftigen Frostverwitterung im anstehenden Fels in weiten Bereichen ein sanftes, stark geglättetes Relief entwickelt hat, das über weite Strecken wie planiert wirkt (vgl. Abb. 5). Es handelt sich meist um flachgeböschte bis geböschte Hänge mit maximalen Neigungswinkeln von 15°. Sie bestehen aus Lockermaterial, das oft durch Streifung mit Materialsortierung im Nanobereich, d. h. Formen mit Basisbreiten unter 1 m (BARSCH & STÄBLEIN 1978), gekennzeichnet ist. Häufig findet sich auch eine Art Frostpflasterung, die in den meisten Fällen durch „Abluation“ (im Sinne von LIEDTKE 1983) herrührt. Diese Spülvorgänge erfolgen insbesondere während der Schneeschmelzzeit, die sehr ausgedehnt erscheint und von Dezember bis in den Februar weit flächig wirksam bleibt, wie man aus dem Muster der ubiquitären Schneeflecken nachweisen kann. Bei den vulkanischen Aschen der Deception-Insel wird die Glättung im Relief durch Deflation mitbestimmt.

Die Hangglättung, vor allem in der Höhenstufe oberhalb der Moos- und Flechtentundra, läßt sich als Folge einer speziellen Prozeßkombination von Frostwirkung und Abspülung deuten, die offensichtlich



Abb. 7: Rezente Abrasionsplattform an der W-Seite der Fildeshalbinsel auf der König-Georg-Insel/Südshetlands.

Fig. 7: Recent abrasion platform on the western coast of Fildes Peninsula, King George Island, South Shetland Islands.



Abb. 8: Abspülung und Muren an der Walfängerbucht auf der Deception-Insel/Südshetlands.

Fig. 8: Slope wash and mudflows at Whaler Bay on Deception Island, South Shetland Islands.

für diese hochozeanischen Periglazialbereiche typisch ist. Belegt wird diese Auffassung durch Beobachtungen auf der Deception-Insel, wo durch die Vulkanausbrüche Ende der 60er Jahre große Aschenmengen auf den Hängen zur Ablagerung gekommen sind. Hier hat deshalb bei der jüngsten Überarbeitung des übersteilten Reliefs eine starke Abspül- und Murentätigkeit begonnen (Abb. 8), die jeweils um die Zeit der beginnenden Schneeschmelze stattfindet. Dadurch werden am Unterhang häufig Reste der winterlichen Schneedecke überschüttet und schließlich zu Bodeneis umgewandelt und konserviert. Dies wurde an mehreren natürlichen Aufschlüssen der einschneidenden Bäche und bei Aufgrabungen nachgewiesen. Diese Persistenz von Firn als Bodeneis im Kontakt mit dem unterkühlten Untergrund ist zugleich ein eindeutiger Hinweis auf die Existenz von generellen Permafrostbedingungen unter den gegenwärtigen klimatischen Verhältnissen.

#### 4. ZUSAMMENFASSENDEN BETRACHTUNGEN

Das Gebiet der antarktischen Halbinsel ist ein hochozeanisch geprägtes Periglazialgebiet. Trotz relativ hoher Jahresmitteltemperaturen ist hier wegen des Fehlens höherer Sommertemperaturen mit kontinuierlichem Permafrost zu rechnen, im Gegensatz zu den meisten Gebieten der Arktis, in der bei Jahresmitteltemperaturen um  $-2^{\circ}\text{C}$  in der Regel nur diskontinuierlicher Permafrost auftritt. Da die Winter relativ mild sind, fehlen die klassischen Formen der hohen Arktis, wie Eiskeilnetze oder Pingos. Frostverwitterung und Blockbildung treten auf, scheinen jedoch im unmittelbaren perimarinem Einflußbereich besonders intensiv zu sein. Eine vorwiegend durch Frostwirkung und Abspülung bedingte Glättung der Hänge ist typisch, wobei die Zerrung und eine damit einhergehende ungefähr parallele Hangrückverlegung mit periglazialnivaler Fußflächenbildung auf Steinhangbereiche bzw. ihre Hangfußzonen beschränkt ist. Eine genaue quantitative Aufnahme der Intensität der einzelnen geomorphologischen Prozesse steht noch aus.

So bleibt festzuhalten, daß hier in der niederen ozeanischen Antarktis spezielle periglaziale Geosysteme



vorliegen, die bisher nicht näher untersucht sind und mit den bisherigen Modellen für periglaziale Bereiche (z. B. BÜDEL 1977) nicht übereinstimmen und nicht hinreichend zu erfassen sind.

#### Literatur

- A r a y a, R. & F. H e r v e (1972): Periglacial phenomena in the South Shetland Islands. — In: R. A. Adie, Ed., Antarctic Geology and Geophysics, IUGS-Publ. B 1: 105—109, Oslo.
- B a r s c h, D. (1977): Alpiner Permafrost — ein Beitrag zur Verbreitung, zum Charakter und zur Ökologie am Beispiel der Schweizer Alpen. — Abh. Akad. Wiss. Göttingen, Math.-Phys. Kl. 3 (31): 118—141, Göttingen.
- B a r s c h, D. & G. S t ä b l e i n (1979): EDV-gerechter Symbolschlüssel für die geomorphologische Detailaufnahme. — Berliner Geogr. Abh. 30 (Beitr. z. GMK-Schwerpunktprogramm I): 63—78, Berlin.
- B l ü m e l, W. D. (1971): Kleinkarst und Formen selektiver Erosion auf den Blomstrandbalvoya/NW. Spitzbergen. — Der Aufschluß 22 (5): 149—163.
- B ü d e l, J. (1977): Klima-Geomorphologie. — Berlin, Stuttgart.
- C o r t e, A. E. (1983): Geocryogenic morphology at Seymour Island (Marambio), Antarctica. — Proc. 4th Int. Permafrost Conference, Fairbanks, Alaska, 90—91, Washington.
- D u p h o r n, K. (1981): Physiographical and glaciological observations in North Victoria Land, Antarctica. — Geol. Jb. B 41 (GANOEX 79/80): 69—109.
- D u t k i e w i c z, L. (1982): Preliminary results of investigations on some periglacial phenomena on King George Island, South Shetlands. — Biul. Peryglac. 29: 13—23.
- K a r t e, J. (1983): Periglacial phenomena and their significance as climatic and edaphic indicators. — Geo Journal 7 (4): 329—340.
- L i e d t k e, H. (1983): Periglacial sloopwash and sedimentation in North-Western Germany during the Würm (Weichsel)-Glaciation. — Proc. 4th Int. Permafrost Conference, Fairbanks, Alaska, 715—718, Washington.
- M i o t k e, F. D. (1982): Hangformen und hangformende Prozesse in Süd-Victoria-Land, Antarktis. — Polarforschung 52 (1/2): 1—41.
- N i c h o l s, R. L. (1966): Geomorphology of Antarctica. — In: J. Tedrow, Ed., Antarctic soils and soil forming processes, Am. Geophys. Union, Antarctic Res. Ser. 8: 1—59.
- P o s e r, H. (1931): Beiträge zur Kenntnis der arktischen Bodenformen. — Geol. Rdsch. 22: 200—231.
- P i t t y, A. (1971): Introduction to Geomorphology. — London.
- S c h u n k e, E. (1977): Periglazialformen und -formengesellschaften in der europäischatlantischen Arktis und Subarktis. — Abh. Akad. Wiss. Göttingen, Math.-Phys. Kl. 3 (31): 39—62, Göttingen.
- S t ä b l e i n, G. (1980): Geomorphodynamik und Geomorphogenese an arktischen Küsten. — Berliner Geogr. Studien 7 (Valentin-Gedächtnisband): 217—229, Berlin.
- S t ä b l e i n, G. (1983): Formung von Hängen, Halden und Wänden. Beobachtungen im Bereich der Antarktischen Halbinsel. — Abh. Akad. Wiss. Göttingen, Math.-Phys. Kl. 3 (35): 160—170.
- W a s h b u r n, A. L. (1979): Geocryology, a survey of periglacial processes and environments. — London.