

Bodenbiologische Untersuchungen in der maritimen und kontinentalen Antarktis (King George Island und Windmill Islands). Teil 1. Umweltparameter und anorganische Nährstoffe.

Von Manfred Bölter¹, Hans-Peter Blume² und Ludger Kappen³

Zusammenfassung: In einer vergleichenden Studie von Böden der maritimen (Arctowski, King George Island) und der kontinentalen (Casey, Wilkes Land) Antarktis werden Bodenproben der Oberflächen (0–10 cm) beschrieben. Sie werden charakterisiert hinsichtlich ihrer Temperaturprofile, Laboranalysen und Feldaufnahmen von Korngrößen, pH-Werten sowie Gehalten an anorganischen Nährstoffen. Aktive Kryoturbation ist ein wesentlicher Faktor der Vermischungsprozesse in Oberflächen mit hohen Gehalten an Ton und Schluff. In beiden Regionen wurden Prozesse der Podsolisierung beobachtet. Mikroklimatische Aufzeichnungen weisen auf die Bedeutung kleinskaliger Areale (dm-Bereich) hin, die sich besonders im Bereich des Gefrierpunktes auswirken. Nährsalze und andere anorganische Stoffe sind in Regosolen und Leptosolen sehr homogen verteilt, in Böden mit organischen Auflagen in Form von Krusten stark stratifiziert, und es kommt zu Verlagerungen von Metallionen in Tiefenhorizonte (>10 cm). Histosole zeigen deutliche Verbräunungen. Besonderes Augenmerk wird auf die Herkunft von Stickstoffkomponenten gelegt, und es werden auch für andere Stoffe (z.B. Chlorid) verschiedene Eintragungsmöglichkeiten in das System der antarktischen Böden diskutiert.

Summary: A comparative study was carried out on soils of the maritime (Arctowski, King George Island) and the continental (Casey, Wilkes Land) Antarctic. Soil samples are described for surface layers (0–10 cm) by their in situ temperature profiles as well as by field and laboratory analyses of grain sizes, pH and nutrient contents. Active cryoturbation is a main factor of mixing processes in surfaces with high silt and clay content. In both regions processes of podzolisation were recognized. Microclimatic conditions show the importance of small scale processes which are of special importance for freeze-thaw cycles. The distribution of nutrients and other inorganic components is rather homogeneous in regosols and leptosols. But in soils with organic top layers by lichen and moss cushions (crusts) accumulation occurs as well as displacement of metal ions into deeper layers (>10 cm). Histosols show patterns of brown soils. Special attention is given to the origin of nitrogen compounds and the different ways of import of other components (e.g. chloride) into the Antarctic system are discussed.

EINFÜHRUNG

Abgesehen von großen eisfreien Hochebenen, Fjells, Moränen und nacheiszeitlichen Hebungsterrassen ist das Landschaftsbild terrestrischer Biotope der Antarktis weitgehend durch das Relief einer felsigen Küstenregion geprägt. Es entsteht dadurch

eine fleckenhafte Verteilung der Lebensgemeinschaften und der Böden.

Fjellökosysteme sind typisch für die Polarregionen (ALEXANDROVA 1980). In der Antarktis bilden den Bewuchs fast nur Kryptogamen (in der kontinentalen Antarktis ausschließlich), und die Böden können über lange Zeiträume vegetationsfrei sein (CHAMBERS 1966a, 1967). Nur auf den Inseln der maritimen Antarktis gibt es Gebiete von der Größe einiger Hektar mit einer geschlossenen Decke von Moosen, Flechten oder von Gemeinschaften mit *Deschampsia antarctica* und *Colobanthus quitensis*, den einzigen höheren Pflanzen der Antarktis. Unter diesen wie auch unter Moospolstern kommt es zu einer Stabilisierung des Gefüges und zu beginnender Humusbildung im Mineralboden. Diese Böden können als Vorstufen zu Braunerden gesehen werden (COLLINS et al. 1975, CAMPBELL & CLARIDGE 1987).

Die Böden sind starker Frostaktivität und Austrocknung ausgesetzt (CHAMBERS 1966b, NORTHOVER & GRIMSHAW 1967). In der kontinentalen Antarktis und auf den höheren Lagen der maritimen Antarktis, den Fjells, herrschen durch Permafrost geprägte Böden vor. Auf Festgestein bilden sich flachgründige Leptosole (flachgründige, wenig entwickelte Böden über festem Gestein), auf Lockersedimenten und Moränen Regosole (tiefgründige, aber wenig entwickelte Böden aus Lockergestein). In sandigen Böden der maritimen und kontinentalen Antarktis treten aber auch flachgründige Podsole (Böden mit Sauerbleichung und starker Verlagerung metallorganischer Komplexe) auf (BLUME & BÖLTER 1993a,b, 1994, BLUME et al. 1996). Der Permafrost tritt in der maritimen Antarktis ab ein bis zwei Meter Tiefe, in den Küstenregionen der kontinentalen Antarktis ab 0,3–0,5 m auf, abhängig vom Relief, der Nähe zu Schneebänken und Gletschern (BOCKHEIM & UGOLINI 1990, BOCKHEIM 1995).

Vergleichende Untersuchungen zu diesen unterschiedlichen Standorten oder gar zu Regionen liegen nur für einzelne geochemische oder biochemische Prozesse vor. Multivariate Analysen abiotischer und biotischer Faktoren in Böden einzelner Gebiete der Subantarktis und Maritimen Antarktis finden sich z.B. bei SMITH & FRENCH (1988) und BÖLTER (1990a). Regionale (bzw. nationale) Schwerpunkte der meisten Untersuchungen waren die Trockentäler der Dry Valleys, die Vestfold Hills, das

¹ Dr. Manfred Bölter, Institut für Polarökologie, Universität Kiel, Wischhofstr. 1-3, 24148 Kiel.

² Prof. Dr. Hans-Peter Blume, Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Universität Kiel, Olshausenstr. 40, 24098 Kiel.

³ Prof. Dr. Ludger Kappen, Botanisches Institut, Universität Kiel, Olshausenstr. 40, 24098 Kiel.

Manuskript eingegangen 1996; angenommen 13. September 1996

Yukidori Valley sowie einige subantarktischen Inseln der South Orkneys oder South Shetlands (PICKARD 1986, FERRIS et al. 1988, KANDA et al. 1990, RAKUSA-SUSZCZEWSKI 1993).

In vorliegender Arbeit soll ein Vergleich klimatischer, edaphischer, chemischer und einiger mikrobiologischer Parameter von Standorten bei den Stationen Casey (Wilkes Land, Kontinentale Antarktis) und Arctowski (King George Island, Maritime Antarktis) vorgenommen werden. Hierzu dienen Bestandsaufnahmen mehrerer Expeditionen nach Casey und Arctowski (BÖLTER 1989, 1990b,c, 1992, 1993, 1995, BÖLTER et al. 1989, 1994, KAPPEN et al. 1990, BLUME & BÖLTER 1993a,b, BLUME et al. 1996).

MATERIAL UND METHODEN

Die Untersuchungsorte Casey und Arctowski liegen in unterschiedlichen klimatischen und geobotanischen Zonen der kontinentalen und maritimen Antarktis (Abb. 1; SCHWERTFEGER 1984, PHILLPOT 1985, LONGTON 1985, BOCKHEIM & UGOLINI 1990), was sich in unterschiedlichen Entwicklungsstadien und Eigenschaften der Böden zeigt (CLARIDGE & CAMPBELL 1985, CAMPBELL & CLARIDGE 1987).

Der Standort Casey

Die australische Station Casey liegt im Gebiet der Windmill-Inseln, im nördlichen Teil der Vincennes Bucht an der Budd-Küste von Wilkes-Land in der Ostantarktis ($66^{\circ} 17' S$, $110^{\circ} 32' E$, Abb. 2). Das Gebiet um diese Station stellt ein zusammenhängendes eisfreies Areal dar, mit einer der am besten entwickelten pflanzlichen Gemeinschaften der kontinentalen Antarktis hinsichtlich Artenzusammensetzung und Vielfalt (PICKARD & SEPPELT 1984, LEWIS SMITH 1986).

Temperaturmuster einzelner Standorte zeigen große Variabilität, hervorgerufen durch das Relief, und damit starke Variation in der Einstrahlung (BÖLTER 1992, 1993). Zwar kann ein langjähriges Mittel für Casey mit $-9,2^{\circ} C$ angenommen werden (SCHWERTFEGER 1984), tagesperiodische Schwankungen an Flechten und auf Felsoberflächen können aber im Bereich von $40^{\circ} C$ liegen (LEWIS SMITH 1986, BÖLTER et al. 1989). In den drei Sommermonaten können mittlere monatliche Maximaltemperaturen über $0^{\circ} C$ gefunden werden. KERRY (1990) zitiert Stationsdaten von Casey, die das mittlere monatliche Maximum mit $0,2^{\circ} C$ (Januar), das Minimum mit $-15,1^{\circ} C$ (August) angeben.

Die mittlere Jahresniederschlagsmenge betrug für den Zeitraum von 1969-1981 ca. 870 mm (ROSER et al. 1993), hauptsächlich im Herbst und Winter. Der Niederschlag fällt zumeist als Schnee, der in manchen Jahren jedoch fast vollständig verweht und/oder sublimiert, so daß der Boden dann kaum durchfeuchtet. Die mittlere Windgeschwindigkeit beträgt $6,8 m s^{-1}$, Windrichtung ist vornehmlich aus Ost bis Nordost zu registrieren.

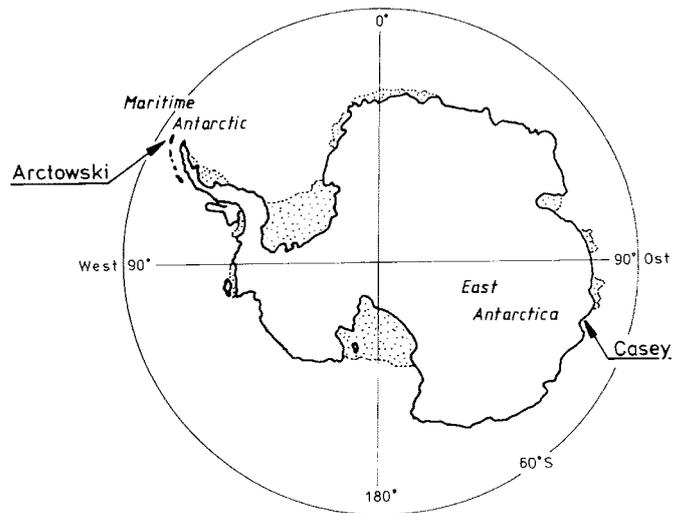


Abb. 1: Karte der Antarktis mit der Lage der Untersuchungsgebiete von Casey und Arctowski.

Fig. 1: Map of Antarctica indicating the locations of Casey and Arctowski.

Die eisfreie Landschaft besteht aus magmatischen und metamorphen Gesteinen. Es dominieren quarzreiche Leucogneise, neben basischen Gneisen sowie Migmatiten und Graniten (ROBERTSON 1959). BLIGHT & OLIVER (1977) bezeichnen sie als „Windmill Metamorphites“. Landrücken sind durch Gletschereis gekappt, Unterhänge mit mächtigerem, karbonatfreiem Moränenschutt bedeckt. Die Landschaft besteht aus holozänen marinen Hebungszonen (CAMERON & GOLDTHWAIT 1961).

Für dieses Gebiet liegen mehrere floristische Beschreibungen vor (vgl. LEWIS SMITH 1986, HANCOCK & SEPPELT 1988, KAPPEN et al. 1990, MELICK et al. 1994). Die pflanzliche Besiedlung ist stark geprägt von der Windexposition (LEWIS SMITH 1986). Auf der Leeseite großer Felsblöcke bilden sich Schneefahnen und typische Besiedlungsmuster an bzw. auf den Felsen. Es zeigen sich große Bestände von Flechten von *Usnea sphacelata*, *Pseudophebe minuscula*, *Umbilicaria decussata* und verschiedenen Krustenflechten bis in den Bereich der kleinen Steine und den Sand (vgl. LEWIS SMITH 1986, KAPPEN et al. 1988, 1990). Vor allem Senken und Unterhänge sind (mit Ausnahme von Algen) vegetationsfrei.

Das engere Areal vorliegender Untersuchung umfaßt ca. 50 x 50 m. Es liegt etwa 40 m ü.N.N. auf einer Kuppe („Mable Hill“) der durch Rundhöcker geprägten Landschaft, ca. 0,2 km südlich der neuen Station und ca. 2 km entfernt von der Küste (Abb. 2). In unmittelbarer Nähe der Probenentnahmeorte befinden sich keine Vogelkolonien. Dieses Areal wird von West-Ost verlaufenden, senkrecht stehenden, mehreren Meter breiten, harten Leucogneisrippen durchzogen. Sie sind teilweise von schmalen (< 1cm), stärker verwitterten, basischen Gneisen und Schiefen unterbrochen. Geringmächtiger, blockreicher Moränenschutt bildet die obere Decke. Polygone von 0,5 - 10 m Durchmesser mit lehmreichen, kies- und steinarmen Unterböden der Zentren, neben stein- und kiesreichen Rändern, bilden in ebener Lage Steinringböden, die in Hanglage zungenartig gestauch sind.

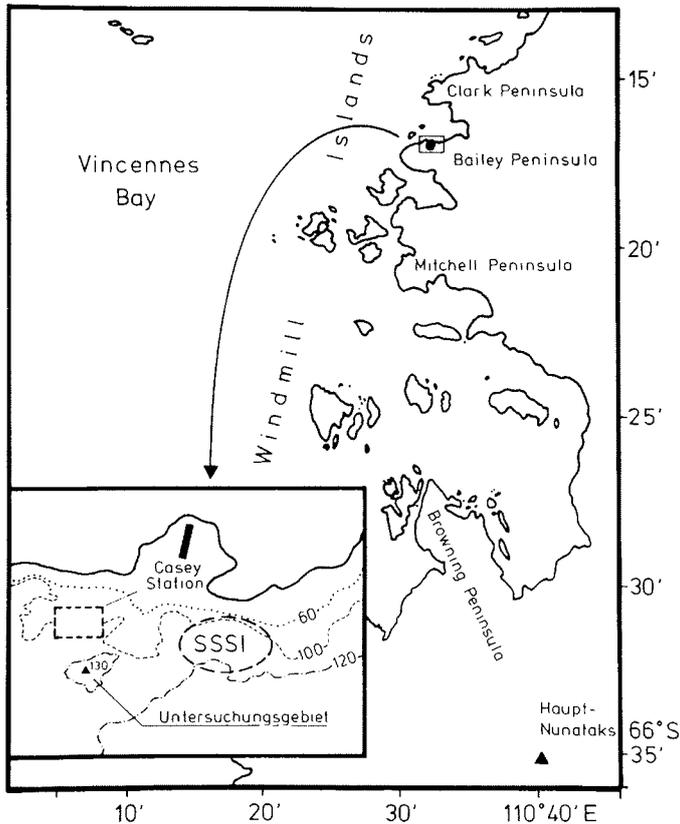


Abb. 2: Karte des Gebietes um Casey.

Fig. 2: Map of Casey region.

Im kleinskaligen Bereich finden sich Areale von der Größe einiger Quadratmeter zwischen Felsen mit sehr unterschiedlicher, durch Permafrost gebildeter Oberflächenstruktur. Der Bewuchs der Steine und der sandigen Böden aus Leucogneis besteht aus Strauch-, Nabel- und Krustenflechten. In kleinen Mulden aus Moosen finden sich unbewachsene Areale oder nur sehr kleinskalig besiedelte Areale mit Cyanobakterien, Algen oder Mikroflechten, hauptsächlich auf lehmigen Böden der verwitterten Schiefer. Die langsam wachsenden Flechten fehlen, weil die lehmigen Böden durch starke Kryoturbation charakterisiert sind (BLUME & BÖLTER 1993a, b).

Die Böden sind durchgehend flach- bis allenfalls mittelgründig und ab 50-60 cm tritt Permafrost auf, der in Senken eisreich, auf Hügeln trocken ist. Aus den kiesreichen Sanden haben sich flachgründige Podsole entwickelt (BLUME et al. 1996), aus schluffig bis lehmig verwitterten Gesteinen flachgründige Leptosole bzw. tiefgründige Regosole. Die von Flechten bewachsenen Steine, die auch mehrere Millimeter tief von Algen belebt sind, werden als Lithosole bezeichnet. Sie wurden bisher nicht als Böden klassifiziert. Da das Gestein bei Ihnen in den oberen Millimetern durch Frostsprengung perforiert und durch lösungsschemische Verwitterung verändert wurde - mithin Bodenentwicklung eingesetzt hat - haben wir sie als Rohböden angesehen und schlagen als Namen Lithosol vor. In kleinen, leeseitigen Hangmulden mit Schneebedeckung treten auch flache Vermoorungen (Histosole, mindestens 20 cm Torf) unter Moospolstern auf.

Im einzelnen sind die folgenden Bodeneinheiten nach der (von uns erweiterten) Systematik der FAO-UNESCO-Weltbodenkarte (1989) unterschieden worden (BLUME & BÖLTER 1993a, b):

- Leptosole, Solum < 30 cm, $A_h < 1$ cm, darunter
 - Lithic Leptosole mit <10 cm Solum,
 - Dystrigelic Leptosole, 10-30 cm Solum, Basensättigung < 50 %;
- Regosole, Solum > 30 cm, A-C-Böden, $A_h < 1$ cm, humusarm, darunter
 - Dystrigelic Regosole;
- Podsole, <1cm Aeh (bzw. EA), kein Ae (bzw. E), Bh bis 20 cm, darunter
 - Lithic Podsole (Solum < 10 cm),
 - Leptigelic Podsole (Solum 10-30 cm),
 - Hapligelic Podsole (Solum > 30 cm),
 - Gravelly-gelic Podsole (Solum > 30 cm, > 70 % Kies),
- Histosole, > 30 % organ. Substanz, darunter
 - Fibrigelic Histosole, Torf kaum humifiziert,
 - Terrigelic Histosole, Torf stark humifiziert;
- Lithosole, Steine, mehrere cm tief angewittert und belebt, z.T. 1 mm Ai (Vorschlag, s.o.).

Diese Böden der kontinentalen Antarktis sind, im Gegensatz zur Auffassung von TEDROW (1977), stark von der Vegetation und den Bodenorganismen geprägt. Auch die Gravelly-gelic Podsole sind biogen entstanden, da sie auf ehemaligen Pinguinkolonien mit herantransportierten Steinen entstanden sind (BEYER et al. 1995).

Der Standort Arctowski

Die polnische Station Henryk Arctowski liegt an der Admiralty Bay von King George Island, der größten der Südshetland-Inseln, vor der Antarktischen Halbinsel ($62^{\circ} 09' S$, $58^{\circ} 28' W$; Abb. 3). Die Station liegt in Nähe des „Point Thomas“ auf einem eisfreien Areal von $4,2 \text{ km}^2$. Dies wird im Norden vom Ezcurra Inlet, im Süden vom Zentralteil der Admiralty Bay begrenzt. Der Bereich der Station umfaßt $0,28 \text{ km}^2$ und liegt ca. 5 m über dem Meeresspiegel (RAKUSA-SUSZCZEWSKI & KRZYSZOWSKA 1991). Südlich der Station liegt eine Tundraformation, die an eine Pinguinkolonie grenzt (SSSI 8).

Auf King George Island herrscht ein ozeanisches Polarklima vor, das auch höheren Pflanzen (*Colobanthus quitensis* und *Deschampsia antarctica*) Siedlungsmöglichkeiten erlaubt. Mittlere Bodentemperaturen erreichen während des Sommers positive Werte bis in eine Tiefe von 1 m (CYGAN 1981). NIEMIEC & RAWA (1989) geben für die Monate Januar und Februar 1987 folgende Klimawerte für den Bereich der Station Arctowski: Mittlere Lufttemperatur ist im Januar (Februar): $1,6$ ($1,8$) $^{\circ}\text{C}$, maximale Temperatur: $6,3$ ($9,1$) $^{\circ}\text{C}$, Niederschlag: $32,8$ ($53,8$) mm, mittlere Sonnenscheindauer pro Tag: $2,5$ ($4,0$) h, mittlere Windgeschwindigkeit: $4,6$ ($5,1$) m s^{-1} . Für das Frühjahr (Sept.-Nov.) können Mittelwerte der Lufttemperatur mit $1,9$ $^{\circ}\text{C}$, den Sommer (Dez.-Feb.) mit $+2,2$ $^{\circ}\text{C}$ angenommen werden, das Jahres-

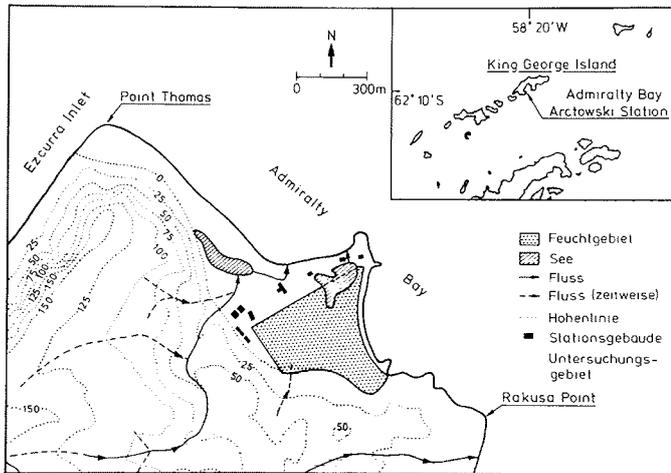


Abb. 3: Karte des Gebietes um Arctowski.

Fig. 3: Map of Arctowski region.

mittel (1978-1983) beträgt $-1,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ (NOWOSIELSKA 1980, WIELBINSKA & SKRZYPCZAK 1988). Mit ähnlichen Temperaturspannen beschreibt SCHWERDTFEGER (1984) Jahresmittel für King George Island. Detaillierte Klimabeschreibungen und Niederschlagsdaten werden von BARSCH et al. (1985) auf der benachbarten Fildeishalbinsel für das Jahr 1979/80 mit 460 mm angegeben, langfristige Schwankungen liegen zwischen 300 und 600 mm.

Die Insel besteht fast vollständig aus Magmatiten der Ezcurre Gruppe, die im Paläozän und Eozän entstanden; den Bereich der Admiraltätsbucht bilden vulkanische Tuffe und Andesite (BARSCH et al. 1985, BIRKENMAJER 1989). Älteste Vulkanite stammen aus dem Oberjura. Das Untersuchungsgebiet auf der Point Thomas Formation ist stark vom Gletschereis überprägt. Die Moränen in Nähe des Ecology Gletschers sind seit dem späten Pleistozän entstanden (BIRKENMAJER 1981), die jüngsten vermutlich erst in diesem Jahrhundert.

Große, fast vegetationsfreie Gebiete der Fjelle bestehen weitestgehend aus Grus und Sand mit eingestreutem Detritusmaterial von Flechten oder Moosen. In der Nähe von felsigen Arealen gibt es große geschlossene Flechtenbestände, vornehmlich *Usnea antarctica* und *U. aurantiaco-atra*. Vegetationskundliche und floristische Beschreibungen finden sich bei JACOBSEN & KAPPEN (1988), OLECH (1993), ZARZYCKI (1993) und FABISZEWSKI & WOJTUN (1993).

Im Bereich der Pinguinkolonie (SSSI 8), die auf dem gleichen eisfreien Areal wie die Station und die Probennahmeorte liegt, wurden keine Proben genommen, die dort anzutreffenden ornithogenen Böden werden nicht näher berücksichtigt. TATUR (1989) sowie TATUR & MYRCHA (1993) beschreiben auch große Flächen auf den Höhenzügen, die auf verlassene Pinguinkolonien hinweisen.

Auf vegetationsfreien Flächen der Fjelle lassen sich, ähnlich denen auf Casey, Leptosole und Regosole finden. Während der Probennahmen 1987 und 1992/93 wurde in den oberen 50 cm

kein Permafrost beobachtet. Aufgrund der klimatischen Bedingungen bilden sich hier Cambisole (verlehnte und verbrauchte Böden analog den deutschen Braunerden) und Leptosole. Die Böden unter Vegetation sind braun und typisch für die Subantarktis (ALLEN & HEAL 1970). Andere sind humusarm, soweit nicht von Moosen oder Flechten bewachsen. Allgemein herrschen grusreiche Leptosole und Regosole vor. In der Region der maritimen Antarktis ist dieser Bodentyp verbreitet auf den Süd-Shetland-Inseln, den Süd-Orkney-Inseln und Teilen der Antarktischen Halbinsel (ALLEN & HEAL 1970, EVERETT 1976, O'BRIEN et al. 1979). BOCKHEIM & UGOLINI (1990) fassen diese Böden als „Subantarctic Brown Soil“ zusammen. Solche Böden fanden auch COLLINS et al. (1975) auf Signy Island, die als Vorstufen zu Braunerden klassifiziert wurden. EVERETT (1976) beschreibt braune Erden, die reich an organischem Material sind, als „Zonal Soils“ der South Shetland Inseln. Im alpinen Gebiet beschreibt POSCH (1977) ähnlich geartete Böden als „Initiale Braunerden“. FABISZEWSKI & WOJTUN (1993) bezeichnen Böden unter *Deschampsia antarctica* bzw. *Colobanthus quitensis* bei Arctowski als Histosole. Auch für andere Inseln der Maritimen Antarktis sind Histosole beschrieben (LEONARDI et al. 1987).

Eine im Südsommer 1995 durchgeführte bodenkundliche Untersuchung ergab nach der Feldansprache zunächst folgende Einheiten:

- Gelic Regosole (mit z.T. andischen Eigenschaften) und Cambisole auf Moränen,
- Gelic Leptosole und Cambisole (Braunerden) auf anstehenden Vulkaniten,
- Histosole, z.T. Vermoorungen, Gelic Gleysols bzw. Stagnisole auf Hangschultern und Ebenen fluvioglazialer Sande.

Eine ausführliche Darstellung und bodentaxonomische Bearbeitung dieses Gebietes durch SCHNEIDER et al. sind in Vorbereitung.

Probennahmen

Proben wurden während der Aufenthalte in den Südsommern 1985/86, 1989/90 und 1991/92 (Casey) sowie 1986/87 und 1992/93 (Arctowski) in den Monaten November-Februar entnommen.

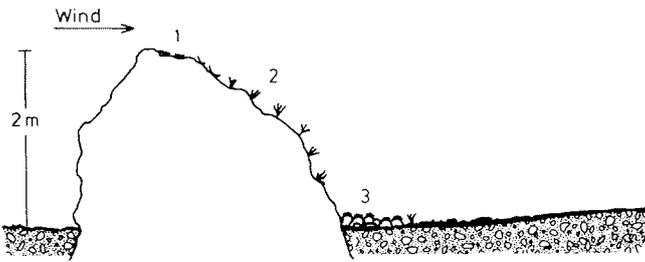
Die Standorte bei der Station Casey waren alle auf einem Hügel („Mable Hill“), etwa 2 km südwestlich von der alten Station, bzw. etwa 250 m südlich der 1984-1986 entstandenen neuen Station. Wegen der vorherrschenden Windverhältnisse (Ost) war eine unmittelbare anthropogene Beeinträchtigung des Probenstandortes nicht zu erwarten. Die Auswahl der Probenorte erfolgte nach folgenden Gesichtspunkten (Abb. 4):

- 1) Proben aus Arealen ohne Oberflächenbewuchs,
- 2) Proben mit unterschiedlichem krustenartigem Bewuchs durch Algen, Flechten oder Moos/Flechten-Gesellschaften,
- 3) Proben aus mächtigen Moospolstern (>20cm)

Die Probennahme auf King George Island erfolgte entsprechend den Besiedlungstypen:

- 1) auf den *Deschampsia-Colobanthus*-Wiesen,

Casey



Arctowski

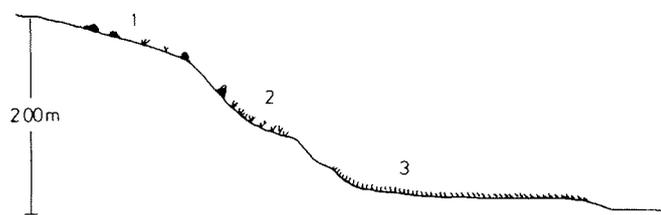


Abb. 4: Beispiel zu unterschiedlichen Reliefs von Casey und Arctowski. Casey: Hauptwindrichtung Ost, kein Bewuchs in Luv, Bewuchs auf Felskuppen (1) mit Krustenflechten, im Lee (2) Stauchflechten und Gemeinschaften aus Moosen und Flechten auf Mineralböden. Arctowski: Krustenflechten und Strauchflechten in den Hochlagen (1), Flechtenheiden auf Hängen und flachen Ebenen (2) und in Meereshöhe Feuchtgebiete (3) mit Gras und Moosen.

Fig. 4: Example of the different reliefs at Casey and Arctowski. Casey: Prevailing wind direction east, on top of boulders (1) growth of crustose lichens, lee side (2) growth of fruticose lichens, and communities of mosses and lichens on mineral soils between boulders (3). Arctowski: Crustose and fruticose lichens on high located fjells (1), lichen heaths on slopes and lower fjells, and well established communities of grass and mosses in low wetlands (3).

- 2) den Flechtenheiden,
- 3) den spärlich oder unbewachsenen Hochebenen und
- 4) den jungen Moränen vor den jüngst zurückgewichenen Gletschern.

Die Probennahmeorte bei der Station Arctowski lagen mindestens 0,5 km südlich bis westlich der Station im Bereich der Hügel. Störungen durch die Station (Müll, Fahrzeugspuren und ähnliches) waren nicht zu beobachten.

Proben für die chemischen Bestimmungen im Labor in Kiel, wurden sofort bei $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ eingefroren. In Tab. 1 sind die Profile und Entnahmetiefen der Horizonte wiedergegeben.

Analysen

Umweltparameter

Temperaturen wurden am Standort mit automatischen Dataloggern registriert (Casey 1985/86: MIKROMET, Cernusca, Innsbruck, Messung mit Cu/Cu-Ni Thermoelementen; sonst: SQUIRREL 1200, Fa. Grant, Cambridge, Messung mit dazugehörigen Mikrothermistoren). Bei allen Felduntersuchungen

Casey (1985/86)						
Profil	Probe	Tiefe [cm]	Profil	Probe	Tiefe [cm]	
C1	C1.1*	0-2	C6	C6.1	0-2	
	C1.2	2-4		C6.2	2-4	
	C1.3	4-7		C6.3	4-6	
C2	C2.1	0-1	C7	C7.1*	0-1	
	C2.2	1-3		C8	C8.1*	0-1
	C2.3	3-5		C9	C9.1*	0-1
C3	C3.1	0-1	C10	C10.1*	0-1	
	C3.2	1-3		C11	C11.1*	0-1
	C3.3	3-5		C12	C12.1*	0-2
C4	C4.1	0-2		C12.2	2-4	
	C4.2	2-4		C12.3	4-6	
	C4.3	4-6				
C5	C5.1	0-1				
	C5.2	1-3				
	C5.3	3-5				

Casey (1989/90)					
C13	C13.1*	0-0,5	C16	C16.1*	0-0,5
	C13.2	0,5-1		C16.2	0,5-2
C14	C14.1*	0-1	C17	C17.1*	0-0,5
	C14.2	1-2		C17.2	0,5-2
C15	C15.1*	0-0,5			
	C15.2	0,5-2			

Arctowski (1986/87)						
Profil	Probe	Tiefe [cm]	Profil	Probe	Tiefe [cm]	
A1	A1.1*	0-2	A9	A9.1*	0-3	
	A1.2	2-4		A9.2	3-5	
	A1.3	-6		A9.3	5-7	
A2	A2.1	0-2	A10	A10.1*	0-2	
	A2.2	2-4		A10.2	2-5	
	A2.3	4-6		A11.1	0-1	
A3	A3.1	0-1	A12	A12.1	0-1	
	A3.2	1-3		A13	A13.1	0-1
	A3.3	3-5		A13.2	-2	
A4	A4.1	0-2	A14	A14.1*	0-1	
	A4.2	2-4		A14.2	1-3	
	A4.6	4-6		A14.3	3-5	
A5	A5.1*	0-2	A15	A15.1*	0-1	
	A5.2	2-4		A20	A20.1*	0-2
	A5.3	4-6		A20.2	2-4	
A6	A6.1*	0-2		A21.1*	0-2	
A7	A7.1	0-2				
A8	A8.1	0-2				
	A8.2	2-4				

Tab. 1: Standort- und Probenbezeichnungen. Oberflächen aus Krusten (Moosen mit Krustenflechten) oder Oberflächenbewuchs (Gras oder Strauchflechten) sind mit einem Stern (*) gekennzeichnet. Nähere Angaben zu den Bodenbeschreibungen finden sich bei BÖLTER (1993).

Tab. 1: Designations of sites and samples. Surfaces of crusts (mosses with crustose lichens) and surfaces with other plants (grass or fruticose lichens) are marked by an asterisk (*). For more details ref. BÖLTER (1992, 1993, 1995).

war das Meßintervall generell sechs Minuten. Bodentemperaturen wurden auf Casey im Oberflächenhorizont (-1 cm), auf Arctowski bis zu einer Tiefe von 7 cm in mehreren Horizonten aufgenommen. Detaillierte Beschreibungen der einzelnen Meßanordnungen sind bei der Darstellung der Ergebnisse gegeben.

Soweit nicht anders angegeben, wurden Feinerdeproben (Korngröße < 2 mm) untersucht. Die pH-Messungen wurden am Standort wie auch im Labor mit Glas/ Kalomelektroden (Einstabmeßkette mit Nadelmembran, Ingold, FRG) durchgeführt, in Bodenaufschwemmungen mit Wasser (pH H₂O) und 0,01m CaCl₂ (pH CaCl₂) (Wasser:Boden = 5:1 /v:v).

Vorgetrocknete (60 °C) Bodenproben wurden ohne Dispergierung mit Sieben (Retsch, Haan, FRG) der Maschenweiten 0,063, 0,18 und 2,0 mm fraktioniert. Die Fraktionen wurden danach mit Veraschung (550 °C) auf den Gesamtgehalt an organischem Material untersucht (Glühverlust, LOI).

Chemische Komponenten

Anorganische Salze wurden mit Wasser extrahiert: 10 g Feinerde wurden mit 50 ml frischem Aqua bidest extrahiert (1 h schütteln) und dieser Extrakt zur Bestimmung der Kationen und Anionen benutzt. Bei den Flechten beziehen sich die Angaben in der Regel auf Material, das nach Schütteln der Proben in Wasser bestimmt wurde.

Soweit nicht ausdrücklich anders beschrieben, erfolgten die Bestimmungen der Gehalte an Ammonium, Nitrit, Nitrat, Sulfat, Phosphat, Chlorid sowie von Magnesium, Calcium und Eisen als wasserlösliche Substanz gemäß den Anweisungen für MERCK Fertigtest („Spectroquant“, bzw. „Mikroquant“, MERCK: „Die chemische Untersuchung von Wasser“, 13. Aufl.).

Alle Mengenangaben erfolgen generell in µg g⁻¹ (ppm) oder mg g⁻¹ Trockengewicht.

ERGEBNISSE

Mikroklima

Tab. 2 gibt die Zeitspannen von je zwei Böden bei Arctowski und Casey an, für die Temperaturen in bestimmten Bereichen gemessen wurden. Unterschiede ergeben sich bei vergleichbaren Tiefen und Expositionen sowohl zwischen den Böden als auch ganz besonders zwischen den maritim-antarktischen und den kontinental-antarktischen Standorten. Die Böden bei Casey kühlten sich auf etwa 40 % im Leptosol und 50 % der Zeit im Podsol des Untersuchungszeitraumes unter 0 °C ab, waren also starken Gefrier-Auftaustörungen ausgesetzt. Solche Ereignisse waren in den Böden bei Arctowski unter 7 % der Gesamtzeit vorhanden. Temperaturen zwischen 0 und 5 °C sind bei Arctowski deutlich länger (etwa 60 %) gegenüber Casey (etwa 35 %). Noch deutlicher wird der Unterschied für die Temperaturspannen: Bei Casey sind Temperaturen von <0 bis +5 °C mit etwa 80 % der Gesamtzeit vertreten, während bei Arctowski die größte Zeitspanne (>85 %) im Bereich von 0-10 °C liegt. Der Bereich von 10-15 °C ist an allen Standorten mit etwa 7 % der Gesamtzeit gleichmäßig vertreten, Temperaturen >15 °C sind an beiden Standorten selten, im kontinentalen Gebiet sogar etwas häufiger. Wenngleich diese Werte nicht unbedingt als repräsentativ anzusehen sind, spiegeln sie doch die Situationen im Trend wieder. Es ist auch erkennbar, daß der Podsol bzw. Regosol unterhalb der dünnen Pflanzendecke kühler sind als der Leptosol bzw. Histosol.

Zurückführbar ist dies auf den Isolationseffekt der Pflanzendecke, insbesondere auf die nur kurzen Einstrahlungszeiten. Die puffernde Wirkung des Bewuchses auf die Bodentemperatur konnte auf Arctowski unter einem Moos wie auch unter *Deschampsia antarctica* festgestellt werden: für beide Standorte konnten Gradienten innerhalb der oberen 2 cm von etwa 15 °C festgestellt werden. Maximale Oberflächentemperaturen betragen 25,2 bzw. 31,6 °C. In der Bodentiefe (unbewachsener Boden) von 1 cm wurde das Maximum hier mit 20 °C registriert (am 2.1.1986), in einem trockenen Moos/ Flechten-Polster ein

Temperaturspanne (°C)	Casey 1985/86				Arctowski 1986/87			
	Leptosol		Podsol		Regosol		Histosol	
	(h)	(%)	(h)	(%)	(h)	(%)	(h)	(%)
<0	496	39.3	624	49.5	50	6.7	1	1.5
0- 5	475	37.7	394	31.3	449	59.8	379	56.2
5-10	174	13.8	145	11.5	185	24.7	231	34.3
10-15	93	7.4	79	6.3	54	7.2	58	8.6
15-20	22	1.7	18	1.4	6	0.8	4	0.6
>20	0	0	0	0	6	0.8	0	0
Summe (h)	1260	100.0	1260	100.0	750	100.0	673	100.0
= (d)	52.5		52.5		31.25		28.0	

Tab. 2: Zeiten (Std.) für definierte Temperaturspannen während der Untersuchungszeiten bei den Stationen Casey (1985/86) in einem Leptosol und einem Podsol unter einer Moos/Flechten-Kruste sowie bei Arctowski (1986/87) in einem Regosol und einem Histosol bewachsen mit *Deschampsia antarctica* und *Colobanthus quitensis* (Tiefe jeweils -1 cm).

Tab. 2: Time spans (h) for defined temperature ranges during the visits at Casey (1985/86) in a leptosol and a podzol underneath a moss/lichen crust as well as for Arctowski (1986/87) in a regosol and a histosol overgrown with *Dechampsia antarctica* und *Colobanthus quitensis* (depth each at -1 cm).

Wert von 21 °C. Auf Arctowski trat bei 7 cm Bodentiefe noch ein Wert von 16.4 °C auf, das Maximum an der Oberfläche eines unbewachsenen Bodens wurde mit 32,8 °C festgestellt.

pH-Wert

Die Böden Caseys und Arctowskis reagieren stark bis schwach sauer mit Minima bei pH 4, und nur wenige Proben erreichen im Maximum den Neutralpunkt oder überschreiten ihn. Die pH-Werte lassen für die Bodenhorizonte keine Unterscheidungskriterien zu; bei den Proben von Arctowski zeigen sich aber größere Spannweiten. Am häufigsten wurden Werte zwischen pH(CaCl₂) 5 und 6 registriert. Die Proben von Arctowski weisen eine größere Spannweite auf (pH(CaCl₂) 4,1- 7,1), jene von Casey schwanken nur von pH(CaCl₂) 4.0-6.0.

Korngrößenverteilungen

Die Böden Caseys weisen mit 28 % ±14 % (Mittelwert ± Standardabweichung) hohe Kies- und Steinanteile auf (vgl. Abb. 5). Der Anteil von im Mittel 29 % der Fraktion >2 mm läßt eine gute Wasserführung und Durchlüftung erwarten, andererseits niedrige Nährstoffreserven. Überdurchschnittlich hohe Gehalte dieser Korngrößenfraktion weisen die Proben C1.1, C1.2, C2.2, C3.1, C3.3, C4.1, C4.3 und C5.1 auf. Mit Ausnahme der Profile C1 und C2 ist ein Trend zur Abnahme dieser Fraktion mit zunehmender Tiefe feststellbar.

Sehr starke Unterschiede ergeben sich bei den Proben von Casey für die Schluff/Ton-Fraktion (<63 µm) mit Werten von 0,4 (Probe C4.1) bis 35 % (C6.7), was zum Teil eine Charakterisierung als lehmigen bzw. auch schluffigen Sand zuläßt. Den konstantesten Anteil stellt die Feinsandfraktion (0,063- 0,18 mm) mit 13 ± 3 % dar. Sehr deutlich ist die Tendenz feststellbar, daß sich der Anteil an Schluff/Ton mit zunehmender Tiefe vergrößert; Ausnahmen sind nur die Proben C1.1 und C2.1.

Der Vergleich der Korngrößenanalysen der Proben von Arctowski (Abb. 5) mit denen von Casey vermittelt auf den ersten Blick den Eindruck, daß diese Böden einen geringeren Anteil an Schluff und Feinsand haben. Die Oberflächenproben zeigen einen niedrigeren Anteil des Skelettanteils (21 %), die Tiefenhorizonte einen Anteil von 27 %. Der Anteil Schluff und Ton liegt bei diesen Proben zwischen 8 und 55 %. Ein signifikanter Trend wird jedoch nicht deutlich; die Variation zwischen den Einzelproben ist dafür zu groß.

Gehalte von Nährsalzen in den Proben

In Tab. 3 sind die Gehalte verschiedener Kationen und Anionen in den Böden aufgeführt.

Stickstoffformen

Ammonium ist besonders stark vertreten. Es weist in den Profilen A9, C1 und C12 die höchsten Werte auf (>100 ppm). Ex-

Profil	NH ₄ -N mg m ⁻²	NO ₂ -N mg m ⁻²	NO ₃ -N g m ⁻²	SumN g m ⁻²	PO ₄ ³⁻ g m ⁻²	SO ₄ ²⁻ g m ⁻²	Cl g m ⁻²	Ca g m ⁻²	Mg g m ⁻²	Fe mg m ⁻²
A1	70.21	0.49	2.10	2.17	1.11	175.40	1.09	18.51	9.88	68.94
A2	34.48	0.45	1.00	1.04	0.71	81.61	<0.01	9.14	4.51	7.18
A3	39.17	0.01	1.17	1.21	0.37	78.43	0.04	10.74	4.83	1.87
A4	13.52	1.59	1.25	1.26	0.86	12.43	0.55	9.45	5.17	8.87
A5	31.50	0.24	1.28	1.32	0.68	60.57	0.81	8.21	4.35	44.49
A8	43.64	0.58	3.63	3.68	0.34	41.33	4.05	10.66	4.86	19.40
A9	143.8	4.04	6.13	6.28	2.16	14.15	4.17	10.63	5.12	115.9
A10	46.47	3.73	3.46	3.51	1.70	11.94	1.98	8.80	5.09	66.95
A14	41.23	<0.01	3.35	3.39	1.13	12.36	0.89	6.57	4.25	130.3
A20	37.81	<0.01	1.39	1.42	0.36	10.33	3.08	5.30	3.32	14.03
C1	134.6	0.62	1.49	1.63	2.99	38.63	8.68	20.62	5.96	26.64
C2	42.31	1.63	<0.1	0.04	4.93	n.b.	1.52	1.56	4.56	491.8
C3	14.29	0.36	<0.1	0.01	0.62	9.09	1.48	0.77	0.98	37.49
C4	5.43	0.59	0.14	0.15	0.46	14.86	<0.01	0.27	0.87	29.48
C5	22.40	0.41	0.32	0.34	0.34	8.59	4.62	0.72	1.10	11.10
C6	6.11	0.68	<0.1	0.07	1.68	5.44	5.44	0.27	2.44	90.72
C12	376.5	3.48	8.56	8.94	3.62	1.47	14.3	<0.1	<0.1	40.19

Tab. 3: Flächenbezogene Gehalte der Profile [g m⁻² bzw. mg m⁻², Horizonttiefe für Integration 6 cm] für Ammonium, Nitrit, Nitrat, Gesamt-N, Phosphat, Sulfat und Chlorid sowie Kalzium, Magnesium und wasserlöslichem Eisen) bei Casey 1985/86 und Arctowski 1986/87, vgl. Tab. 1. (n.b.= nicht bestimmt, Werte unterhalb der Nachweisgrenzen sind mit dem Zeichen < versehen.)

Tab. 3: Contents of ammonia, nitrite, nitrate, total N, phosphate, sulfate, chloride, calcium, magnesium related to surface area [µg m⁻² and mg m⁻², respectively, depth for integration was 6 cm] for Casey 1985/86 and Arctowski 1986/87, cf. Tab. 1. (n.b.= not determined, values below detection limit are marked by the sign <.)

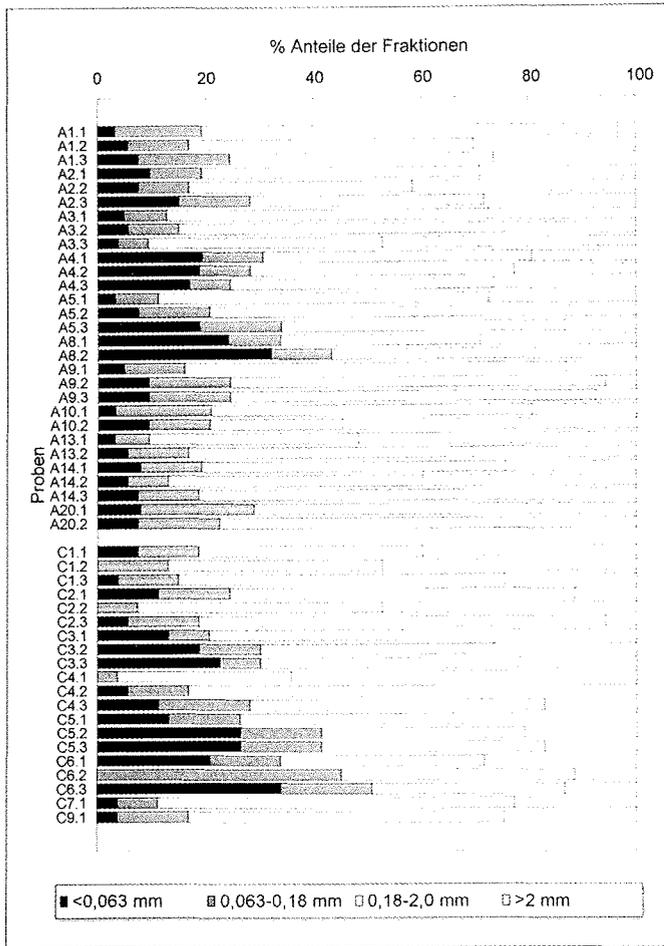


Abb. 5: Korngrößenspektren der Böden von Caseys (C) und Arctowskis (A).

Fig. 5: Grain sizes of samples of profiles from Casey (C) and Arctowski (A).

tremswerte finden sich auch in den Oberflächen der Profile C7 und C8. Hohe Ammoniumwerte ($>50\%$) sind auch in den Oberflächen der Profile C3 (Sand mit Algen), A5 (Moospolster), A8 und A13 (Sand ohne erkennbare organische Substanz) zu finden. Relativ niedrige Ammoniumkonzentrationen dagegen zeigen die Profile mit dem Bewuchs vom *Deschampsia antarctica*, A1 und A10.

Nitrit ist in den Proben von Arctowski nur in sehr geringen Mengen und nur in wenigen Proben nachweisbar. Werte $> 0,1$ ppm treten nur in den Profilen A4, A9 und A10 auf. Demgegenüber kann dieses Anion im Datensatz von Casey 1985/86 nicht vernachlässigt werden, es ist in fast allen Proben vorhanden. Werte > 0.1 ppm allerdings finden sich in den Oberflächen der Profile C7, C8, C10 und C12. Dieser Befund weist auf eine Entkopplung der Nitrifikationsstufen hin. Ähnlich hohe und zum Teil noch höhere Werte konnten in den Proben der Expedition 1989/90 gefunden werden.

Nitrat tritt in beiden Probensätzen auf, wenn auch in nur geringen Mengen bei den Tiefenproben Casey's, in manchen Profilen ist es hier gar nicht nachweisbar. Erhöhte Werte finden sich in den Oberflächen der Profile C7-C11.

Phosphat und Sulfat

Vergleichbare Wertebereiche können in beiden Probensätzen für die Messungen des Phosphats der Bodenproben angegeben werden (Abb. 6). Sulfat (Abb. 7) zeigt für die Bodenproben Wertebereiche, die höhere Konzentrationen in den Proben von Arctowski ergeben. In einzelnen Horizonten jedoch ist Sulfat hier gar nicht nachweisbar. Chlorid hat in beiden Datensätzen der Bodenproben Maxima für die Oberflächenproben (>50 ppm).

Erdalkalimetalle (Ca, Mg)

Magnesium hat in beiden Datensätzen einen ähnlichen Wertebereich und vergleichbare Mediane. Es ist bei den Proben von Casey, mit Ausnahme in denen des Moooses, überall nachweisbar. Kalzium dagegen zeigt eine stärkere Verbreitung in den Proben von Arctowski, wenn auch die Maxima beider Stationen recht ähnliche Werte zeigen. So ist es auf Casey nur in den Proben des Profils C1 in größerer Menge feststellbar.

Das Verhältnis zwischen Kalzium und Magnesium zeigt für die Proben von Arctowski relativ konstante Werte um 2. Die Proben von Casey jedoch weisen große Variabilität auf. Dies ist unabhängig vom Gehalt an organischem Material, bzw. Art der Bodendeckschicht, soweit diese mit Moos- oder Flechtenkrusten ausgestattet ist.

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß die Meßwerte dieser Parametergruppe sehr große Spannweiten aufweisen. Die Verteilungen der Meßwerte der weiteren Parameter zeigen in der Regel eine große Schiefe zu den hohen Werten hin. Vergleicht man die Mediane mit den Mittelwerten, so wird ersichtlich, daß letztere wesentlich höher sind. Das heißt, daß die Datensätze mit Ausreißern hoher Werte belastet sind.

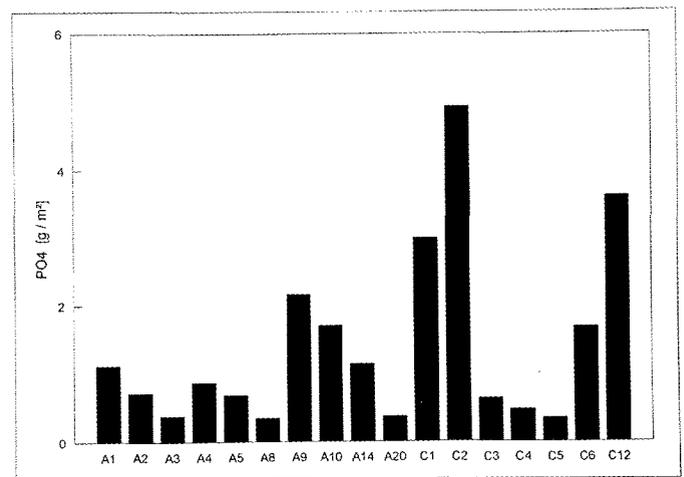


Abb. 6: Phosphatgehalte (wasserextrahierbar) in den Böden von Casey (C) und Arctowski (A).

Fig. 6: Contents of phosphate (water extractable) in the soil from Casey (C) and Arctowski (A).

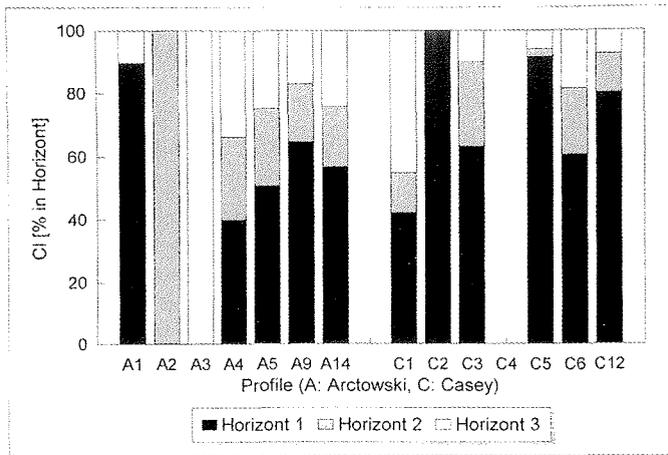


Abb. 7: Sulfatgehalte (wasserextrahierbar) in den Böden von Casey (C) und Arctowski (A).

Fig. 7: Contents of sulfate (water extractable) in the soils from Casey (C) and Arctowski (A).

Verteilungen der Nährstoffe in einzelnen Horizonten

Die tiefenbezogene Verteilung der Nährsalze wie auch einiger Metalle ist in Tab. 4 anhand von drei ausgewählten Standorten bei Casey dargestellt. Für die Verteilung anorganischer Substanz in den Bodenlösungen der Horizonte sollen zwei Komponenten als Beispiele dienen: Ammonium und Chlorid. Ammonium wegen der unmittelbaren Beteiligung an Prozessen der Mineralisation organischer Substanz; darüber hinaus steht es über die Assimilation mit der Stoffproduktion autotropher und heterotropher Organismen in Verbindung. Chlorid ist ein mobiles Anion im Boden, sein Vorkommen steht in Zusammenhang mit dem Eintrag anorganischer Komponenten aus dem marinen Bereich. Es kann aber auch als Anzeiger von Wanderungen anorganischer Ionen betrachtet werden, und es kann auf hohe Evaporation und Versalzung der Oberflächen hinweisen.

Die Abb. 8 stellt die Anteile des Ammoniums in den Profilen dar. In den Oberflächen sind im Mittel etwa 50 % des Ammoniums des Gesamtprofils zu finden. Dieser Anteil gestaltet sich unabhängig von der Gesamtkonzentration im Profil. Besonders hohe Anteile sind in den Oberflächen der Profile C5 und A10 zu verzeichnen. Beide Oberflächen haben hohe Anteile organischer Substanz aufzuweisen, und in beiden sind vertorfte und trockene Moospartikel zu finden.

Die beiden anderen anorganischen Stickstoffkomponenten zeigen ein ähnliches Muster der Verteilung in den Profilen. Nitrit jedoch ist nur bedingt für diese Aussage hinzuziehen, da es insgesamt nur in sehr geringen Mengen vorliegt; lediglich die Profile C2, C3, C5, A1, A2 und A10 haben bedeutende Mengen aufzuweisen. Für Nitrat liegen deutliche Maxima in den Oberflächen der Profile C5, A1, A2, A5, A9-A14 vor. In den Profilen C2, C3, C6 und C13 war gar kein Nitrat nachweisbar.

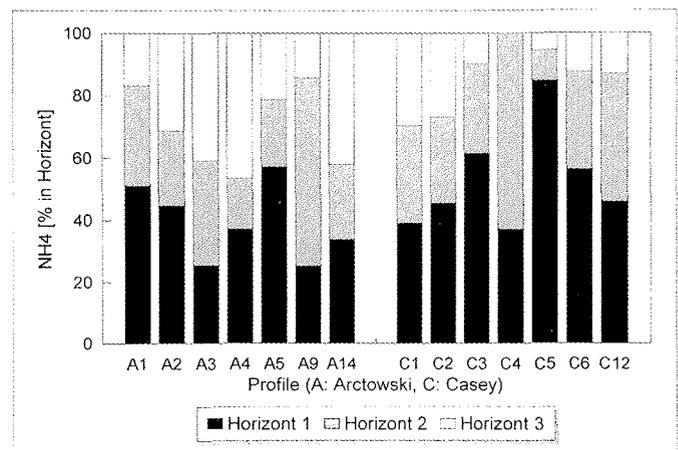


Abb. 8: Anteilige Verteilung des Ammoniums in den Bodenprofilen (Gehalte der drei Probenhorizonte in % des Gehalt vom Gesamtprofil).

Fig. 8: Distribution of ammonium in soil profiles (% in each horizon related to the total content in each profile).

Probe	Tiefe [cm]	Na	Fe	Mn	Co	Cu	Cr	Pb	Sr	Zn	Ca	Mg	NH ₄	Cl	SO ₄	NO ₃	pH (H ₂ O)	pH (CaCl ₂)
		mg g ⁻¹			µg g ⁻¹							mmol kg ⁻¹						
C1.1	0-2	7.4	64.6	0.40	5.7	19,0	106	7.1	15.8	41.7	23.4	11.6	0.24	7.7	17.2	2.02	5.2	4.9
C1.2	2-4	6.8	42.5	0.29	5.9	9.1	154	4.2	8.4	31.2	18.2	9.0	0.19	2.4	15.3	2.11	6.3	5.2
C1.3	4-7	2.8	42.0	0.28	4.4	11.0	121	4.6	10.3	29.6	25.3	10.8	0.18	8.3	18.0	2.41	5.5	4.6
C3.1	0-1	6.8	42.2	0.37	6.4	40.2	129	7.1	10.7	38.9	n.b.	3.5	0.03	71.5	n.b.	0	6.1	4.9
C3.2	1-3	5.8	47.3	0.68	9.2	25.7	26	2.9	41.8	37.7	1.31	0.7	0.02	0.6	4.9	0	5.4	4.5
C3.3	3-5	7.8	67.9	0.80	11.7	38.7	28	2.7	45.0	n.b.	0.18	0.7	0.01	0.2	2.4	0	5.0	4.3
C6.1	0-2	4.7	23.9	0.42	4.4	12.9	7	2.4	30.7	21.2	n.b.	2.5	0.01	3.9	2.0	0	6.8	5.6
C6.2	2-4	10.4	59.0	0.92	8.7	35.2	26	5.1	81.5	50.0	0.52	4.1	0.01	1.4	2.4	0	6.6	4.9
C6.3	4-6	n.b.	64.0	0.76	12.7	26.0	13	5.3	69.1	49.0	n.b.	2.2	0	1.2	n.b.	0	5.5	4.4

Tab. 4: Elementgehalte (HNO₃/HClO₄-Extrakt) und Salzgehalte typischer Böden Caseys. C1: Podsol aus Leucogneis; C3: Leptosol aus basischem Gneis; C6: Leptosol aus Schiefer. (n.b.= nicht bestimmt)

Tab. 4: Element and salt contents (HNO₃/HClO₄-extracts for elements) of typical soils from Casey. C1: Podzol from leucogneis; C3: Leptosol from basic gneis; C6: Leptosol from slate. (n.b.= not determined)

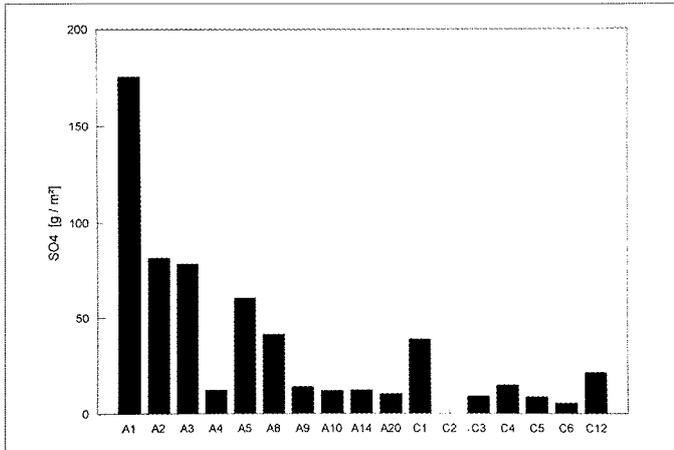


Abb. 9: Anteilige Verteilung von Chlorid in den Bodenprofilen (vgl. Abb. 8).

Fig. 9: Distribution of ammonium in soil profiles (cf. Fig. 8).

Die Anionen Phosphat, Sulfat und Chlorid zeigen ebenfalls die Tendenz erhöhter Werte in den Oberflächenproben. Anhand des Chlorids ist dies in Abb. 9 dargestellt. Allerdings sind die Gradienten hier nicht so stark ausgeprägt wie bei den Stickstoffkomponenten.

Eine Tendenz zu einer Akkumulation von Mineralstoffen in dem Oberflächenhorizont zeichnet sich auch bei den Profilen C2, C5, A1, A9, A10 und A14 ab. Dies trifft besonders auch auf Phosphat und Sulfat zu. Mit Ausnahme von Profil C2 sind die benannten Profile alles solche, die eine Oberflächenschicht aus Moospolstern, Flechten oder Gras aufweisen. Das heißt, daß eine Matrix organischen Materials auf Akkumulationen von Mineralstoffen positiven Einfluß nimmt. Besonderheiten sind die Profile A5, A14 und A20, die hohe Werte organischen Materials aufweisen und bei denen eine Anreicherung von Mineralstoffen auch unterhalb von 2 cm deutlich wird.

Bei den Erdalkalimetallen ist die Tendenz zu einer Akkumulation nur wenig ausgeprägt. Auffallend hohe Anteile in Oberflächen sind lediglich in den Profilen C3 (Moospolster-Sand, für Magnesium), A3 (Sand, für Calcium), A5 und A10 (Moospolster/Sand für Magnesium und Kalzium) zu verzeichnen. Das wasserlösliche Eisen zeigt in beiden Datensätzen ähnliches Verhalten in Bezug auf die Tiefenverteilungen.

DISKUSSION

Das Mikroklima und sein Einfluß auf edaphische Prozesse

Die Extreme der Temperaturen sind wesentliche Randbedingungen für die biotischen und abiotischen Prozesse. Dies gilt sowohl für das Gebiet um Casey, das von Moränenschutt mit unterschiedlich großen Felsen geprägt ist, als auch für Arcowski, wo große Schwankungen im Kleinklima durch den verschiedenartigen Bewuchs deutlich wurden. Insofern ist es schwierig, eine unmittelbare Beziehung zwischen großklimatischen Faktoren und biologisch-chemischen Prozessen herzu-

stellen, wie dieses von SMITH & FRENCH (1988) in einem Vergleich abiotischer und biotischer Komponenten subantarktischer und antarktischer Inseln erfolgte.

Das Mikroklima, das für diese Prozesse aber betrachtet werden muß, ist stark von der Exposition der Standorte abhängig. Entsprechende Temperaturaufzeichnungen bei Casey haben gezeigt, daß erst ab Anfang Dezember im Boden wie auch an Flechten Tagesmittel über 0 °C meßbar waren (BÖLTER 1992, 1993). Es wurden jedoch große Schwankungsbreiten um den Gefrierpunkt registriert, die sowohl chemische Prozesse, Kryoturbation und kryoklastische Verwitterung (CAMPBELL & CLARIDGE 1987, HALL 1988) als auch biologische Abläufe, z.B. Respiration und enzymatische Aktivität beeinflussen (z.B. WYNN-WILLIAMS 1982, 1984, CHAPIN et al. 1988, SCHINNER & GURSCHNER 1989).

WALTON (1982) berichtet von 64 Tau-Gefrier-Zyklen pro Vegetationsperiode auf Signy Island, BLACK (1973) von über 100 Zyklen in Nord-Viktoria Land, die bis in 10 cm Bodentiefe reichen können. MEYER et al. (1988) sehen in hochfrequenten Temperaturschwankungen um den Gefrierpunktsnähe eine Ursache für die biotische Natur der Felsoberflächen, andererseits können endolithische und chasmoendolithische Populationen feine Risse als Habitate nutzen.

Mit dem Temperaturwechsel ist zugleich ein Feuchtwechsel im Boden vorhanden, wobei Quellen und Schrumpfen in Böden mit quellfähigen Tonmineralen sowie Lösung und Fällung von Salzen auftreten. Dadurch ergeben sich örtlich Salz- oder Metallanreicherungen im Oberboden (vgl. Tab. 4). An Standorten mit lehmigen Böden, führen Feuchtigkeits- und Temperaturänderungen zu Kryoturbationen, die ihrerseits Auswirkungen auf die Bodenbeschaffenheit und den Bewuchs haben. Lehmige Lepatosole wurden daher auch nie mit einer Decke von Flechten gefunden; sie sind in so starker Bewegung, daß sich keine Siedlungsmöglichkeiten ergeben (BLUME & BÖLTER 1993b, 1996). Physikalische Verwitterung durch Frostsprengung hat auch eine chemische Verwitterung silikatischer Minerale ermöglicht. Dadurch entstanden Illite sowie durch Umwandlung von Glimmern Smekтите und in geringem Maße Kaolinite durch Neubildung aus Feldspäten (BLUME et al., im Druck).

Maxima von über 30 °C wurden an einem Felsen bei Casey gemessen (BÖLTER et al. 1989), und ähnlich hohe Werte konnten in den Oberflächenhorizonten (bis 2 cm Tiefe) der dortigen Böden registriert werden (BÖLTER 1992, 1993). LEWIS SMITH (1986) konnte in Moospolstern von *Schistidium* sp. auf Casey sogar Werte bis 42,8 °C registrieren. Diese rasche Erwärmung der Oberflächen erfolgt durch die intensive Sonneneinstrahlung. Auf Casey wurden Werte über 2500 µmol Photonen m⁻² s⁻¹ (PAR) registriert, was weitere Konsequenzen in der raschen Verdunstung von Wasser und damit der Austrocknung von Böden mit geringen Humus- und Streustoffgehalt hat.

Die Korngrößen als Abbild von Mineralbildung und Kryoturbation

Am Standort bei Casey ergaben die quarzreichen Leucogneise tonarme, die basenreichen Gneise und Glimmerschiefer tonreiche Böden. Soweit die Böden jedoch einer rezenten Kryoturbation unterliegen, sind sie ohne erkennbare Horizontbildung. Erst nach Besiedlung durch Kryptogamen bilden sich deutliche Horizontierungen, damit verbundene Verlagerungen von Salzen und letztlich auch Podsolierungen (BLUME & BÖLTER 1993 a,b).

In vielen Profilen nimmt das Feinmaterial (Körnung < 63 µm) mit zunehmender Tiefe zu, was auf aktive Kryoturbation und Aufwärtsbewegung größerer Partikel zurückgeführt werden kann (z.B. C3, C4, C5, C6). Dieser Anteil ist aber im Absolutwert gering und macht nur in Einzelfällen mehr als 20 % einer Probe aus (vgl. Abb. 6). Die Abreicherung feinkörnigen Materials in den Oberflächen ist mit dem Austrag durch Wind erklärbar. Die von BARSCH et al. (1985) gemachte Beobachtung, daß sich mit zunehmender Tiefe ein größerer Anteil an größeren Komponenten finden läßt, ließ sich nur teilweise an Profilen von Arctowski bestätigen, die 1988 bis zu einer Tiefe von 25 cm gewonnen wurden. Diese Sortierung macht sich in allen Fraktionen bemerkbar.

CLARIDGE & CAMPBELL (1984), CAMPBELL & CLARIDGE (1987) wie auch EVERETT (1971) haben die Rolle der physikalischen Verwitterung für die Bildung von tonigem Material in der Antarktis aufgezeigt. Sie geben Werte für die maritime und kontinentale Antarktis im Bereich von etwa 10 % Tongehalt (< 2 µm) an. Diese Fraktion wurde in vorliegender Untersuchung nicht bestimmt. Für die Fraktion < 63 µm fanden wir einen Bereich von 0,4-35 % (Casey) und 1,5-33 % (Arctowski). Diese Anteile weisen aber auf einen beachtlichen Anteil physikalischer Verwitterungsprozesse an der Bodenbildung hin.

Auf King George Island unterscheiden BARSCH et al. (1985) zwei Typen der Böden: Böden auf Flachrelief und solifluidal geprägte Böden. Erstere werden dort von ihnen als „kryomorphe antarktische Braunerden“ klassifiziert, letztere als „eluviale antarktische Braunerden“. Offen bleiben bei ihnen allerdings die Fragen, ob nicht frühere Wärmephase den wesentlichen Anteil an den Verwitterungsmerkmalen darstellen, ob unter heutigen Bodentemperaturen nicht nur eine langsame Weiterentwicklung abläuft oder ob die kryomorphen Bodenmerkmale ein Abbild des rezenten Klimas sind. Eigene Profilbeschreibungen (BLUME & BÖLTER 1994; BLUME, SCHNEIDER, BÖLTER, unveröff.) dokumentieren auch den Einfluß von vulkanischem Material und die Entwicklung von Cambisolen, Histosolen und Podsolen.

Herkunft und Verteilung anorganischer Ionen

Bei der Betrachtung der wasserlöslichen anorganischen Kationen und Anionen stellt sich zunächst die Frage nach deren Herkunft. Neben Verwitterungsprozessen kommen Einträge aus dem Meer durch Gischt sowie durch Ferntransport aus der Luft mittels Aerosolen infrage (GREENFIELD 1992). Wegen der gro-

ßen Nähe beider Standorte zum Meer dürften die meeresbürtigen Salze allgemein von größerer Bedeutung an der Zusammensetzung sein als die gesteinsbürtigen. CAMPBELL & CLARIDGE (1987) sehen z.B. Sulfat und Chlorid in erster Linie als meeresbürtig an, daneben, als Quelle für Sulfat, auch Minerale (Thenardit und Mirabilit).

LINDEBOOM (1979) diskutiert zudem den Eintrag von Stickstoff (Ammonium und Harnstoff) durch Vögel. An Standorten mit signifikantem Auftreten von Cyanobakterien muß auch die mikrobielle N-Fixierung Berücksichtigung finden, auf die unten näher eingegangen wird. Diese Quellen tragen in unterschiedlichem Maße zu den aktuellen Konzentrationen in den Böden bei. Große zeitliche und räumliche Schwankungen im Pool der Mineralstoffe werden von GERSPER et al. (1980) auch für arktische Küstentundren beschrieben. Sie sehen die Ursachen hierfür in den topographischen Gegebenheiten sowie in den standortabhängigen biologischen Prozessen.

Die Mobilität der Nährsalze ist in den Böden Caseys und Arctowskis wegen der humiden Klimaverhältnisse als hoch anzusehen. Aufgrund der Entstehung aus Gneisen und Graniten sowie der vorherrschenden niedrigen pH-Werte sind die Böden weitgehend karbonatfrei (CASEY, vgl. auch HEATWOLE et al. 1989) bis allenfalls karbonatarm (Arctowski), mithin stehen keine leicht löslichen Ionen zur Säureneutralisation zur Verfügung. Solch niedrige Werte können auch auf biologische Prozesse zurückgeführt werden, wofür vornehmlich Mikroorganismen in Frage kommen. Es wird hieran deutlich, daß es auch bei relativ geringer Organismenaktivität und damit verbundener Kohlensäurebildung in Verbindung mit der durch Niederschlag eingetragenen Kohlensäure zu sauren Böden kommen kann.

Die Phosphatgehalte zeigen in den Böden ein sehr einheitliches Muster bei relativ geringer Konzentration. Die von uns beschriebenen Phosphatkonzentrationen beruhen auf einer Extraktion mit Wasser und sind schon daher niedriger als bei anderen Verfahren mit Salzextrakten. Konzentrationen in der Bodenlösung (und diese kommen der Extraktion mit Wasser am nächsten) liegen ebenfalls im ppm-Bereich (SCHEFFER-SCHACHTSCHABEL 1984). Bodenextrakte mit Laktat ergaben bei den Proben von Casey Werte zwischen 0,2 und 1,3 µg g⁻¹ PO₄-P (bezogen auf die steinfreie Feuchtprobe), die Proben Arctowskis dagegen wiesen Gehalte zwischen 0,01 und 0,3 µg g⁻¹ PO₄-P auf. D. Roser (ANARE, pers. Mitt.) findet PO₄-P-Gehalte in wäßrigen Extrakten von Böden und von pflanzlichem Material zwischen 0,5 und 52 µg PO₄-P g⁻¹.

INO & NAKATSUBO (1986) finden ähnlich geringe Schwankungen im Phosphatgehalt (Gesamtgehalt) von Böden (0,1-1 % P) und Moospolstern (1-10 % P) bei Syowa (Queen Maud Land). Die in den Böden von Casey und Arctowski bestimmten ca. 10 bzw. 20 ppm Phosphat (= 0,001-0,002 % des Trockengewichts) liegen aber unter den Werten von INO & NAKATSUBO (1986), die solche Werte als Basisgehalte für die Region um Rundvagskollane (Queen Maud Land) angeben und aus langfristigem atmosphärischem Eintrag errechnet haben. Phosphate dürften vor

allem an pedogene Eisenoxide sowie in der organischen Substanz gebunden sein. Als Ursprung ist im wesentlichen die Verwitterung anzusehen (SMECK 1973), z.B. Suspension von Apatit oder Magmatit, aus denen Phosphate freigesetzt werden können. Böden früherer Pinguinkolonien enthalten aber auch als Vivianit gebundenes Phosphat (BLUME et al., im Druck).

Sulfatgehalte mit 120-820 mg SO₄ kg⁻¹ (Medianwerte der Probengruppen) weisen in den Böden von Casey und Arctowski auf einen marinen Einfluß hin. Sie entsprechen sogar landwirtschaftlich genutzten Böden in Nordamerika (100-500 mg SO₄ kg⁻¹, STEVENSON 1986). Die in den Böden von Casey und Arctowski gefundenen Böden liegen alle über dem Richtwert von 10 mg SO₄ kg⁻¹, der für mitteleuropäische Böden angenommen werden kann. Recht hohe Werte für Sulfat-Schwefel finden auch HEATWOLE et al. (1989) bei Casey mit 80-490 µg S g⁻¹ an Standorten, die mit unseren direkt vergleichbar sind.

In Böden der Dry Valleys und anderen ariden Standorten der Antarktis (CAMPBELL & CLARIDGE 1987, BOYD & BOYD 1963) wurden bis zu 120 SO₄ mg kg⁻¹ gefunden, CAMERON & BENOIT (1970) ermitteln auf Deception Island in vulkanischer Asche 4-130 mg SO₄ kg⁻¹. Wie schon für N-Komponenten dargestellt, können aber keine unmittelbaren Zusammenhänge in bezug auf das Chlorid festgestellt werden. D. ROSER (ANARE, Kingston, pers. Mitt.) findet in Böden der Windmill Islands Werte im Bereich von 1-100 mg SO₄ kg⁻¹.

Die Konzentrationen von Chlorid liegen aber in den meisten Proben von Casey und Arctowski im Bereich von 2-200 ppm, was auch Böden Mitteleuropas entspricht. Nur wenige Maxima überschreiten diesen Bereich, an Flechten hingegen wurden fast generell höhere Werte gefunden. In den vorliegenden Proben zeigten sich keine Salzkristalle an den Oberflächen, auch wegen der noch hohen Feuchte in den Oberböden. Andererseits können aber auch Standorte mit Salzanreicherungen in den Oberflächen gefunden werden, was insbesondere während einer bodenkundliche Studie auf Casey 1991/92 deutlich wurde.

Die Stickstoffkomponenten

Verteilung der anorganischen N-Verbindungen, Prozesse der N-Mineralisierung und N-Fixierung in Polargebieten sollen hier näher dargestellt werden. Es wurden nennenswerte NH₄- und NO₃-Gehalte sowie auch NO₂-Gehalte festgestellt (Tab. 3). An einigen Standorten bei Casey dominieren sogar die NH₄-Gehalte über die NO₃-Gehalte, während für Böden gemäßigter Breiten meist das Umgekehrte gilt. Für das Auftreten dieser N-Verbindung sprechen mikrobielle Prozesse, da Gestein und Meerwasser kaum entsprechende N-Verbindungen in diesen Verhältnissen enthalten. Eine Freisetzung von Ammonium aus Glimmern ist möglich, dürfte aber keine große Rolle spielen.

Es können in den Böden bei Casey und Arctowski, mit Ausnahme der Tiefenhorizonte bei Casey, mehr als 90 % des Stickstoffs als Nitrat vorliegen (vgl. Tab. 3). Der größte Anteil des durch den Niederschlag eingetragenen Stickstoffs ist Nitrat

(GREENFIELD 1992) und kann daher einen Überschuß bilden. In einer Untersuchung von Böden arktischer Küstentundren finden GERSPER et al. (1980) sehr unterschiedliche NH₄:NO₃-Verhältnisse. Sie liegen in Wiesen bei 10:1, an Polygonrändern bei 0.1:1, was mit unterschiedlicher Sauerstoffkonzentration und damit verbundener reduzierter Nitrifikation in Verbindung stehen könnte.

Aktuelle Konzentrationen für Ammonium wurden mit 0,75-145 µg g⁻¹, für Nitrat mit 0,06-5,9 µg g⁻¹ bestimmt. Werte von D. Roser (ANARE, Kingston, pers. Mitt.) beschreiben die Nitratgehalte ähnlicher Standorte mit Werten <1 µg g⁻¹, höhere Werte findet er nur an Proben ehemaliger oder aktiver Pinguinkolonien. Sowohl bei Casey als auch bei Arctowski liegen von uns beschriebene Werte höher, und es wäre zu erwägen, ob es sich hier einen (zeitlich begrenzten?) Akkumulationseffekt handelt.

Nitrifikation kann auf Casey wegen der niedrigen Temperaturen nur in geringem Maße stattfinden. Auch die - im Vergleich zu Böden gemäßigter Breiten - relativ hohen Nitritgehalte bei Casey deuten darauf hin, daß eine vollständige Oxidation zu Nitrat erschwert ist. Die Nitratgehalte dieser vorgestellten Böden sind sehr viel niedriger als diejenigen, die für die Antarctic Cold Desert beschrieben wurden (CAMPBELL & CLARIDGE 1987). Dort wurde aber durch die hohe Aridität Nitrat in sehr langen Zeiträumen angereichert. Auswaschung ist wegen der niedrigen Niederschlagsmengen dort nicht möglich, während in den bei Casey untersuchten Böden Schmelzwasser auftritt, das leicht lösliche Nitrate auswäscht. Ammoniumoxidierende, chemoautotrophe Bakterien sind in Tundraböden wegen der niedrigen pH-Werte und der niedrigen Temperaturen selten (DUNICAN & ROSSWALL 1974). Sie können für eine Nitratanreicherung in den hier beschriebenen Böden nicht oder nur sehr begrenzt herangezogen werden.

Ammonium kann in Böden sowohl aus N-Bindung durch Cyanophyceen als auch von Mineralisationsprozessen stammen. Die niedrigen Temperaturen begrenzen jedoch die Stickstoffmineralisation und -verfügbarkeit in polaren und alpinen Zonen (VINCENT 1988, SCHINNER 1989). Der aktuelle Gehalt an Ammonium unterliegt jedoch spezifischen regionalen Einflüssen, wie z.B. die Nähe von Vogelkolonien, was bei Arctowski der Fall ist.

Ammonium wird wegen seiner Bevorzugung durch heterotrophe Mikroorganismen im Milieu für den Abbau N-defizienter organischer Substanz schneller verbraucht (ROSSWALL 1981) und erreicht daher keine höheren Konzentrationen. Inwieweit in tonreichen Böden eine NH₄-Fixierung von Bedeutung ist (STEVENSON 1982) wurde hier nicht näher untersucht und kann daher nicht abgeschätzt werden.

VINCENT (1988) schätzt, daß sich pro Jahr - unter Einbeziehung von Ionisationsprozessen in der Atmosphäre - 27000 t Nitrat-N und 19000 t Ammonium-N in der Antarktis niederschlagen, entsprechend 300 mg N m⁻² a⁻¹. GREENFIELD (1992) errechnet für Signy Island einen Gesamt-N-Eintrag aus dem Niederschlag mit 248 mg N m⁻² a⁻¹, und für Cape Bird einen Eintrag von 46 mg

$\text{m}^{-2} \text{a}^{-1}$. CHRISTIE (1987) gibt Werte von $64 \text{ mg N m}^{-2} \text{a}^{-1}$ als Niederschlagsmenge auf Signy Island an. PARKER et al. (1978) errechnen einen Eintrag von nur $3,3 \text{ mg} (= 0,23 \text{ mmol}) \text{ N} (\text{NO}_3\text{-N} + \text{NH}_4\text{-N}) \text{ m}^{-2} \text{a}^{-1}$ für die gesamte Antarktis aufgrund von Messungen der Stickstoffkonzentrationen im Eis. Für Nitrat wurden $5\text{-}142 \mu\text{g N dm}^{-3}$, für Ammonium $6\text{-}59 \mu\text{g N dm}^{-3}$ Schnee gemessen (PARKER & ZELLER 1979). Diese Werte liegen aber noch deutlich unter jenen für Mitteleuropa, die mit $2\text{-}3 \text{ g m}^{-2} \text{a}^{-1}$ angegeben werden (ERIKSSON 1952).

GERSPER et al. (1980) finden als saisonalen Eintrag von Stickstoff durch die biologische Fixierung einen Wert von $85\text{-}119 \text{ mg N m}^{-2}$ für arktische Tundren. Dabei stellen diese Autoren aber die deutlichen Unterschiede hinsichtlich der Bodenbeschaffenheiten und der Topographie heraus, an trockenen Standorten war der N-Eintrag nur $6,7 \text{ mg N m}^{-2}$, an feuchten bis zu 150 mg N m^{-2} . Bedeutendster Faktor hierfür waren Gemeinschaften mit *Nostoc commune*, die sowohl in der Arktis als auch in der Antarktis mit ähnlichen Temperaturoptima das Bodensystem dominieren können. HENRY & SVOBODA (1986), die auf Ellesmere Island (kanadische Arktis) $65\text{-}80\%$ des Stickstoffeintrages der biologischen N-Fixierung zuweisen, legen diesen Hauptanteil auf *Nostoc sp.*.

N-Fixierung durch Mikroorganismen

Eigene Messungen der N_2 -Fixierung bei Casey 1985/86 mit der Acetylenreduktionsmethode auf Casey ($t = 5^\circ\text{C}$) ergaben signifikante Meßwerte ($4,2 \text{ nmol C}_2\text{H}_2 \text{ g}^{-1} \text{ TG h}^{-1}$) nur in einer Gemeinschaft aus Cyanobakterien (*Nostoc commune*). Weit geringe Raten fanden sich in einem Leptosol mit einem Bewuchs von *Candelariella sp.*, Probe C7.1, ($0,3 \text{ nmol C}_2\text{H}_2 \text{ g}^{-1} \text{ TG h}^{-1}$) sowie an der Oberfläche einer Moosprobe, C12.1 ($0,4 \text{ nmol C}_2\text{H}_2 \text{ g}^{-1} \text{ TG h}^{-1}$). Alle anderen Proben zeigten keine solche Aktivität. Bei Arctowski konnten während einer Expedition 1984/85 nur unter *Deschampsia antarctica* (in situ-Inkubation) signifikante Raten der Acetylenreduktion gemessen werden ($0,1 \text{ nmol C}_2\text{H}_2 \text{ g}^{-1} \text{ TG h}^{-1}$, bzw. $0,7$ bei 20°C). *Leptogium puberulum*, eine Cyanobakterienflechte aus diesem Gebiet, zeigte dagegen deutlich höhere Werte mit $84,1 \text{ nmol C}_2\text{H}_2 \text{ g}^{-1} \text{ TG h}^{-1}$, und eine Flechtenprobe (*Psoroma sp.*) erbrachte sogar eine Reduktion von $623 \text{ nmol C}_2\text{H}_2 \text{ g}^{-1} \text{ TG h}^{-1}$.

CHRISTIE (1987) fand Werte auf Signy Island bei *N. muscorum*, ebenfalls in Assoziation mit Moosen, mit $0,12\text{-}0,14 \text{ nmol g}^{-1} \text{ TG h}^{-1}$. Diese Werte sind vergleichbar mit jenen von HENRY & SVOBODA (1986), die $11,5 \text{ nmol g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ in einer *Nostoc*-Matte auf Ellesmere Island messen konnten. DAVEY (1982, 1983) zeigte signifikante Raten der Acetylenreduktion von dem Cyanobakterium *Nostoc commune sp.* auf Moosen in den Vestfold Hills. Er fand dabei Raten der Acetylenreduktion im Bereich von $0,19\text{-}6,89 \text{ nmol C}_2\text{H}_2 \text{ cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ in Abhängigkeit vom Feuchtegrad und der Exposition der Gemeinschaft, bis zu einer Temperatur von 0°C . Auf Marion Island, einer subantarktischen Insel, fanden SMITH & RUSSEL (1982) Acetylenreduktionsraten von $0,36\text{-}310,57 \text{ nmol C}_2\text{H}_2 \text{ g}^{-1} \text{ TG h}^{-1}$, deren große Variation mit dem Wassergehalt der Proben einherging.

Die untere Temperaturgrenze für die N-Fixierung wird sehr unterschiedlich angegeben: KERSHAW et al. (1977) finden bei *Peltigera sp.* keine N-Fixierung unterhalb 15°C ; FOGG & STEWART (1968) zeigten in einer in-situ-Studie auf, daß N-Fixierung wohl nur bei Temperaturen über 10°C vorkommt; DAVEY & MARCHANT (1983) hingegen beschreiben maximale Raten bei *Nostoc commune* im Bereich von $8\text{-}10^\circ\text{C}$ und finden noch meßbare Aktivität bis -7°C bei Untersuchungen in den Vestfold Hills. Optima der Stickstofffixierung wurden bei Temperaturen um $20\text{-}25^\circ\text{C}$ gefunden (MACFARLANE & KERSHAW 1977, KALLIO & KALLIO 1978). Eine besondere Eigenschaft der Stickstofffixierung ist die schnelle Rückgewinnung der Aktivität nach Austrocknung oder unter langen Phasen der Schneebedeckung (KERSHAW & DZINOWSKI 1977, MACFARLANE & KERSHAW 1980). VINCENT (1988) weist daraufhin, daß gerade Cyanobakterien empfindlich auf niedrige pH-Werte reagieren. In den Böden bei Arctowski, aber auch bei denen von Casey, wurden zwar immer wieder Zellverbände von *Nostoc sp.* gefunden, doch muß aufgrund der pH-Werte mit Einschränkungen ihrer aktuellen Aktivität gerechnet werden. Eine Probe von Casey aus einer *Nostoc commune*-Gemeinschaft hatte mit $\text{pH}(\text{H}_2\text{O}) 6,76$ den zweithöchsten gemessenen pH-Wert. HOLDGATE et al. (1967) finden recht ähnliche Werte für Böden auf Signy Island. Die Assoziation von Cyanobakterien mit Moosen erscheint als die bedeutendste Gemeinschaft im Hinblick auf die Stickstofffixierung in der Antarktis (VINCENT 1988).

Versuche, die N-Fixierung für Hochrechnungen oder für N-Bilanzierungen heranziehen, wurden zwar immer wieder unternommen, erwiesen sich jedoch nicht als sinnvoll (CRITTENDEN & KERSHAW 1978). GILLER (1987) führt dazu an, daß gerade bei der Acetylenreduktionsmethode zahlreiche methodische Fehler auftreten können, die mit den üblichen Kontrollen nicht zu kompensieren sind. So fand NOHRSTEDT (1983) eine Variation für Umrechnungsfaktoren in die N-Fixierung zwischen $2,6$ und $15,7$, abhängig vom Wassergehalt der Proben. CRITTENDEN & KERSHAW (1978) verweisen schon darauf, daß unter Einbeziehung des Multifaktorenkomplexes aus Feuchte, Licht, Temperatur und weiterer Einflußgrößen sichere Modelle nicht möglich sind.

Unter Annahme des theoretischen Umrechnungswertes von HARDY et al. (1973) für die Berechnung einer N-Fixierung aus der Acetylenreduktion ($3 \text{ mol C}_2\text{H}_2 = 1 \text{ mol N}_2$), ergeben die gemessenen Werte im Vergleich zu den gefundenen Werten der N-Komponenten Raten der N-Fixierung bei Casey mit $1,4 \text{ ng N g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ (Probe C7.1, gegenüber $30,6 \mu\text{g N g}^{-1}$ als Gehalt im Boden). Für Arctowski wurden Werte von $0,9$ bis $5,8 \text{ ng N g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ gefunden (in situ bzw. 20°C , unter *Deschampsia antarctica*, gegenüber $53 \mu\text{g N g}^{-1}$ im Boden, BÖLTER 1993). Aus diesen Relationen läßt sich in beiden Fällen leicht ersehen, daß die N-Fixierung nur kurzfristig eine Rolle im System spielen kann, und nur geringen Einfluß auf den N-Haushalt in beiden Regionen hat.

Eine Hochrechnung dieser N-Fixierung auf Arctowski (ca. $1\text{-}6 \text{ ng N g}^{-1} \text{ h}^{-1}$) ergibt bei der Annahme von 10 Tagen pro Vegetationsperiode möglicher Bedingungen für eine N-Fixierung ei-

nen Schätzwert von 24-144 g N ha⁻¹ a⁻¹. Diese Größenordnung liegt im Bereich von N-Einträgen durch biologische Fixierung in alpinen Böden (SCHINNER 1989), jedoch weit unterhalb von Werten aus subalpinen Böden ist (1-2 kg ha⁻¹ a⁻¹, TOSCA & LABROUE 1981). Doch müssen 10 Tage schon als sehr hoch angesehen werden, berücksichtigt man die gewonnenen mikroklimatischen Daten. Sowohl in Flechten als auch in Böden wurden immer nur wenigen zusammenhängende Stunden gefunden, in denen die Temperatur über 15 °C hinausging. Insofern können Befunde von NAKATSUBO & INO (1986, 1987), die der Stickstofffixierung in der Antarktis eine sehr bedeutende Rolle zuweisen, hier nicht belegt werden. In der kontinentalen Antarktis dürfte also der Hauptanteil des Stickstoffs nicht-biologischen Ursprungs sein (LEWIS SMITH 1985).

Die heterotrophe, bakterielle, Stickstofffixierung scheint dagegen von sehr untergeordneter Natur zu sein (SMITH 1985). Analog dazu berichtet SCHINNER (1989) von alpinen Böden, daß der Stickstoffeintrag aerober, freilebender Bakterien vernachlässigbar gering ist. Zu ähnlichen Ergebnissen führten Untersuchungen von TOSCA & LABROUE (1981), die eine Stickstofffixierung durch freilebende oder symbiotische Organismen in alpinen Böden als sehr gering einschätzen.

Diese ausführliche Darstellung des Stickstoffmetabolismus und der Stickstoffkonzentrationen in polaren Böden zeigt die noch sehr kontroversen Auffassungen zu diesem Problem. Die unterschiedlichen Ergebnisse stellen auch beispielhaft dar, welche große Bedeutung methodischen Einflüssen zuzuschreiben ist. Unmittelbare Vergleiche der Raten der Stickstofffixierung können daher nur im qualitativen Sinn aufgefaßt werden. Lokale Einflüsse und spezifische biologische Komponenten spielen eine große Rolle und erlauben kaum quantifizierende Vergleiche zwischen den Biotopen.

Die Verteilungen von Metallionen

In den Proben von Arctowski bildeten die beiden Erdalkalimetalle Kalzium und Magnesium ein konstantes Verhältnis von 2 und zeigen keine Besonderheiten in ihrem Vorkommen. Aus diesem Verhältnis läßt sich die Herkunft der Mineralien ableiten. In der Bodenlösung ist in der Regel mehr Ca als Mg zu erwarten, was ein Ca:Mg-Verhältnis von > 4 ausdrückt (SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL 1984). Sowohl auf Casey als auch auf Arctowski traten Verhältnisse < 3 häufig auf, was auf starken Meereseinfluß hindeutet. HEATWOLE et al. (1989) finden bei Casey Werte von 2-2.2, EVERETT (1976) findet für den Bereich der South Shetland Islands von Werte zwischen 0,6 und 3,3. Auf Signy Island finden HALL et al. (1986) Werte zwischen 3 und 5,5 für das Verhältnis Ca:Mg.

D. Roser (ANARE, pers. Mitt.) findet in den Böden sowie an Flechten und Moosen der Windmill Islands ein Ca:Mg-Verhältnis zwischen 0,5 und 1,5. Höhere Werte bis 3,9 ließen sich von ihm nur in bestehenden oder verlassenen Pinguinkolonien nachweisen. In den ariden Böden der Dry Valleys finden CAMPBELL & CLARIDGE (1987) Ca:Mg-Verhältnisse zwischen 4 und

8, bei CAMERON et al. (1970) lassen sich Werte zwischen 0,25 und 6 in den Bodenlösungen ermitteln.

Bei Casey war Kalzium in vielen Proben jedoch gar nicht nachweisbar, was eine Ursache im Hauptgestein, dem Ca-armen Leucitgneis, haben könnte. Die gefundenen Konzentrationen liegen in den Bereichen derer von BOYD & BOYD (1963) bei McMurdo, und derer von HOLDGATE et al. (1967) auf Signy Island.

Für den Eintrag von Kalzium auf King George Island kommen neben marinem Eintrag auch Verwitterung von Vulkaniten in Betracht (BARSCH et al. 1985). Bei Casey kann Magnesium ebenfalls aus dem marinen Bereich stammen (CAMPBELL & CLARIDGE 1987).

Die Gesamtgehalte an Natrium liegen bei Casey und Arctowski in Bereichen (0,2-10 mg g⁻¹, H. HENNIG Stellenbosch, pers. Mitt.). Diese Werte sind in beiden Fällen recht gering und können daher nicht als Indikator für einen starken marinen Einfluß angesehen werden. Auch die Chloridgehalte zeigten keine besondere Erhöhung, die den unmittelbaren Einfluß der Seennähe begründen könnten. D. Roser (ANARE, pers. Mitt.) findet Na-Gehalte zwischen 8,6 und 1450 mg kg⁻¹ (wasserlösliche Fraktion, Median: 30 mg kg⁻¹) sowie zwischen 200 und 5300 mg kg⁻¹ (Gesamtgehalte, Median: 600 mg kg⁻¹).

Auf ein sehr mobiles Verhalten des Natriums weisen Ergebnisse von BOOTH & USHER (1985) hin, die zwar höhere, jedoch unregelmäßig verteilte Mengen, in Torfprofilen der maritimen Antarktis finden. Sie schließen daraus, daß die aktuellen Natriumkonzentrationen eher in Verbindung mit den jeweiligen Wetterbedingungen (Niederschlag) zu sehen sind. O'BRIEN et al. (1979) finden in ihrer Untersuchung von Profilen auf Elephant Island (Maritime Antarktis) Werte in der gleichen Größenordnung, HALL et al. (1986) dagegen in verwitternden Gesteinen auf Signy Island nur Konzentrationen im Bereich von 32-74.8 Na mg kg⁻¹.

Gesteinsanalysen aus dem Gebiet der Bailey Peninsula, Windmill Islands, (BLIGHT & OLIVER 1977) ergaben Strontiumgehalte zwischen 134 und 301 mg kg⁻¹. Bei Casey lagen die Werte zwischen 0,8 und 170 mg kg⁻¹, bei Arctowski zwischen 0 und 594 mg kg⁻¹ (Tab. 4 und H. HENNIG, Stellenbosch, pers. Mitt.).

Als Quellen für die verschiedenen anderen Metallionen kommen sowohl das Ausgangsgestein (SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL 1984) als auch ein Eintrag durch Regen oder Schnee in Betracht. PECHERZEWSKI (1987) fand Konzentrationen von Schwermetallen im Bereich von 1 µg dm⁻³ (geschmolzener Schnee) bei Arctowski. Sie entsprechen im Allgemeinen denen im Meerwasser vor Arctowski (der Admiralty Bay), liegen für Kupfer aber deutlich höher (vgl. ORREN & MONTEIRO 1985).

Für Mangan und Eisen sind als Hauptquellen ebenfalls die lokalen Gesteine anzusehen (GLASBY et al., 1981). Die Mobilität ist durch verschiedene Faktoren, vor allem pH, organisches Material, Tongehalt u.a. sehr eingeschränkt. Den Bodentypen

von Casey und Arctowski zufolge wären Werte zwischen 300 und 600 mg Mn kg⁻¹ zuzuordnen. Die Daten der Oberflächenböden von Casey liegen in diesem Bereich (144-800) mg Mn kg⁻¹), während jene der Böden von Arctowski darüber hinausgehen (450-2960 mg Mn kg⁻¹). Basierend auf den Gesamtgehalten von Böden und Pflanzen aus dem Gebiet der Windmill Islands findet D. Roser (ANARE, pers. Mitt.) Werte für Eisen zwischen 6300 und 51800 mg Fe kg⁻¹, entsprechende Mengen für Mangan liegen zwischen 40 und 385 mg Fe kg⁻¹. HALL et al. (1986) finden Eisenkonzentrationen mittels Argon-Plasma Emissionsspektrometrie auf Signy Island bei 0-0,37 ppm Fe.

Für die anderen Metalle liegen aus dem Bereich der Antarktis fast keinerlei vergleichbare Daten vor. Lediglich HALL et al. (1986) berücksichtigen in ihrer Untersuchung verwitternder Gesteine noch Kupfer und Eisen. PRIDE et al. (1981) und PRIDE & MOODY (1982) erwähnen neben anderen ebenfalls Kupfer, Blei und Zink in Gestein, die auch in den hier untersuchten Böden nachweisbar waren (Tab. 4; H. HENNIG, Stellenbosch, pers. Mitt.). Die hier gefundenen Mengen für Kupfer und Zink befinden sich in den Wertebereichen von PRIDE & MOODY (1982).

Kupfer und Zink sind auch für alpine Standorte in vergleichbaren Mengen beschrieben (M. SCHINNER 1989). Kupfer findet sich in Böden bei Arctowski (11-148 mg kg⁻¹) zum Teil über Normalwerten, die im Bereich von 10 mg kg⁻¹ zu sehen sind (SCHEFFER/ SCHACHTSCHABEL 1984, CZARNOWSKA & GWOREK 1990). AUBERT & PINTA (1977) allerdings beschreiben Normalkonzentrationen zwischen 15 und 40 mg kg⁻¹. Auf Spitzbergen (PLICHTA & KUCZYNSKA 1991) wurden Werte zwischen 4 und 102 mg kg⁻¹ gefunden. In kanadischen Böden finden McKEAGUE & WOLYNETZ (1980) etwa 22 mg kg⁻¹. Die Mengen von Zn liegen bei beiden Orten im Bereich der Normalwerte (50-100 mg kg⁻¹, AUBERT & PINTA 1977). Zwar liegen auch hier die Werte Arctowskis (9-163 mg kg⁻¹) über jenen von Casey (7-80 mg kg⁻¹). PLICHTA & KUCZYNSKA (1991) finden auf Spitzbergen Werte zwischen 38 und 152 mg kg⁻¹. Insofern können sie auch in die Wertebereiche von Böden allgemein eingeordnet werden (MORTVEDT et al. 1972, AUBERT & PINTA 1977, CZARNOWSKI & GWOREK 1990), oder, daß die hier gefundenen Konzentrationen keine Anomalitäten darstellen. Allerdings liegen sie über jenen von HINNERI (1974), der Böden Finnlands im Rahmen des IBP-Programmes untersuchte.

Es finden sich erhöhte Werte für Blei in einigen Flechten bei Arctowski. Ihre Konzentrationen (30-46 mg kg⁻¹) liegen aber im Wertebereich der Gesamtproben. Deutlich erhöhte Werte von Metallen in Flechten finden OLECH et al. (pers. Mitt.) im unmittelbaren Einflußbereich der Müllverbrennungsanlage der Station Arctowski.

Nur selten wurden Akkumulationen der Metalle in den Oberflächen gefunden, und dies auch nur für die Alkalimetalle und das Blei. Dies entspricht Beobachtungen von PLICHTA et al. (1991) an Böden einer Küstenformation Spitzbergens (Gelic Cambisole). Inwiefern hierbei biologische Akkumulationen eine Rolle spielen ist offen. In Tab. 5 ist eine vergleichende Darstel-

lung zu Gehalten verschiedener Nährstoffe und Metalle der Antarktis gegeben.

RESUME

Zur Beschreibung der ökologischen Rolle der beschriebenen Parameter in antarktischen Böden können verschiedene Modelle herangezogen werden. Die hier beschriebenen Daten dienen der Interpretation gleichzeitig erhobener Parameter mikrobiologischer Gemeinschaften sowie deren Aktivität. Eine umfassende Darstellung in Verbindung mit den pedologischen und klimatischen Befunden sowie Untersuchungen zu Gehalten der organischen Substanz ist in Vorbereitung. Dabei ist die Erstellung deskriptiver Modelle bodenbiologischer Prozesse im Mittelpunkt. Betrachtungen der Qualität der Wechselbeziehungen stehen im Vordergrund. Qualitative Sprünge zwischen Probengruppen - ermittelt aus den Clusteranalysen (BÖLTER 1990a, 1993) - sollen anhand der ihnen zuzuordnenden Wertebereiche der Parameter näher dargelegt werden. Es stehen dann quantifizierbare Einheiten zur Verfügung, die mit größerer statistischer Sicherheit in ihren „initial ranges“ (KLEPPER & V.D. KAMER 1987) beschrieben werden können. Diese Clusteranalysen lassen z.B. erkennen, daß Ammonium und Nitrat in Oberflächenproben von Casey mit hohen Gehalten an organischem Material und hohen Werten der mikrobiellen Aktivitätsparameter verbunden sind. Eine deutliche Trennung kann auch für Oberflächen- und Tiefenproben von Arctowski mit ähnlichen Charakteristika erfolgen. Andererseits besteht zwischen Ammonium und Nitrat keine Korrelation.

Solche Parameterkomplexe lassen sich aber nicht generalisieren. Sie können auch nicht als allgemein gültiges Kriterium angenommen werden, obwohl ähnliche Situationen auch für andere Biotope beschrieben wurden (z.B. HARRISON 1983) und Stickstoff als fördernd für den Abbau organischen Materials angesehen werden kann (FOG 1988). Eher kann dies als Hinweis auf kritische Werte betrachtet werden, die eine Voraussetzung für verschiedene mikrobielle Prozesse sein könnten. Absolute Schwellenwerte für die verschiedenen Prozesse mikrobieller Aktivität lassen sich aus Feldebefunden nicht ermitteln.

Dies gilt auch für die physikalischen Parameter. Temperatur und Feuchte stellen einzeln, wie auch als Kombination, zentrale Komponenten für die mikrobielle Aktivität dar. Ihre aktuellen Werte und Beeinflussungen des Geschehens sind jedoch nur schwer erfaßbar. Die Bedeutung der Feuchte ist zwar offensichtlich, denn der sie beschreibende Parameter (Wassergehalt) steht bei den zuletzt beschriebenen Analysen in enger Beziehung zu den Parametern der Stoffwechselaktivität.

Der Anteil sehr feinkörnigen Materials ist bei den meisten Proben zwar nicht so groß, daß damit schon pF-Werte erreicht würden, die das frei verfügbare Wasser im Boden limitieren. Jedoch spielt hier die partikuläre organische Substanz eine bedeutende Rolle, die große Mengen Wasser für Quellvorgänge gebraucht, und Wasser steht daher nur bedingt anderen Pro-

	Ort ¹	Material	Menge	Einh.	Extr.-Mittel ³	Referenz
NH ₄ -N	Signy I.	Moos	0,4-2,8	µg/g	H ₂ O	CHRISTIE 1987
	Signy I.	Fels	0-34	µg/g	KCl	GREENFIELD 1991
	K.G. I.	Orn. Böden	0,5-25,8	µg/g	H ₂ O	MYRCHA & TATUR 1991
	Ross I.	Fels	1-49	µg/g	KCl	GREENFIELD 1991
	Ant.PenI.	Böden	0,1-13	meq/100g	?	EVERETT 1976
	Arctowski	Böden, Obfl.	0,24-2,24	µg/g	H ₂ O	vorl. Unters. ³
	Arctowski	Böden, Tief.	0,11-4,46	µg/g	H ₂ O	vorl. Unters. ³
	Casey	Böden, Obfl.	0,07-21,3	µg/g	H ₂ O	vorl. Unters. ³
Casey	Böden, Tief.	0-19,3	µg/g	H ₂ O	vorl. Unters. ³	
NO ₂ -N	Signy I.	Moos	0-0,05	µg/g	H ₂ O	CHRISTIE 1987
	Arctowski	Böden, Obfl.	0-0,18	µg/g	H ₂ O	vorl. Unters. ³
	Arctowski	Böden, Tief.	0-0,16	µg/g	H ₂ O	vorl. Unters. ³
	Casey	Böden, Obfl.	0,01-0,16	µg/g	H ₂ O	vorl. Unters. ³
	Casey	Böden, Tief.	0-0,18	µg/g	H ₂ O	vorl. Unters. ³
NO ₃ -N	Signy I.	Moos	0,1-0,3	µg/g	H ₂ O	CHRISTIE 1987
	K.G. I.	Orn. Böden	2-119	µg/g	H ₂ O	MYRCHA & TATUR 1991
	Arctowski	Böden, Obfl.	7,6-193	µg/g	H ₂ O	vorl. Unters. ³
	Arctowski	Böden, Tief.	12,9-124	µg/g	H ₂ O	vorl. Unters. ³
	Casey	Böden, Obfl.	0-684	µg/g	H ₂ O	vorl. Unters. ³
	Casey	Böden, Tief.	0-1318	µg/g	H ₂ O	vorl. Unters. ³
PO ₄ -P	Casey	Böden	303-29333	µg/g	H ₂ SO ₄	HEATWOLE et al. 1989
	Arctowski	Böden, Obfl.	0,65-84,4	µg/g	H ₂ O	vorl. Unters. ³
	Arctowsk	Böden, Tief.	0,37-13,4	µg/g	H ₂ O	vorl. Unters. ³
	Casey	Böden, Obfl.	0,84-55,2	µg/g	H ₂ O	vorl. Unters. ³
	Casey	Böden, Tief.	0-59,2	µg/g	H ₂ O	vorl. Unters. ³
SO ₄ -S	Casey	Böden	80-17000	µg/g	H ₂ SO ₄	HEATWOLE et al. 1989
	Arctowski	Böden, Obfl.	58-1472	µg/g	H ₂ O	vorl. Unters. ³
	Arctowski	Böden, Tief.	62-1077	µg/g	H ₂ O	vorl. Unters. ³
	Casey	Böden, Obfl.	0-496	µg/g	H ₂ O	vorl. Unters. ³
	Casey	Böden, Tief.	0-324	µg/g	H ₂ O	vorl. Unters. ³
	Na	Signy I.	Fels	32-74,8	µg/g	Säure/AAS
Signy I.		Böden	0,1-0,16	%	?	BOOTH & USHER 1985
Eleph. I.		Böden	0,7-11,4	µg/g	?	O'BRIEN et al. 1979
K.G. I.		Orn. Böden	14-580	µg/g	H ₂ O	MYRCHA & TATUR 1991
Ant.PenI.		Böden	0,3-4,3	meq/100g	?	EVERETT 1976
Casey		Böden	0,37-1,93	%	H ₂ SO ₄ /X-ray-Spect.	HEATWOLE et al. 1989
Arctowski		Böden, Obfl.	2,6-9,5	mg/g	Säure/AAS	vorl. Unters. ⁴
Arctowski		Böden, Tief.	2,1-9,5	mg/g	Säure/AAS	vorl. Unters. ⁴
Casey		Böden, Obfl.	0-8,3	mg/g	Säure/AAS	vorl. Unters. ⁴
Casey		Böden, Tief.	0-10,4	mg/g	Säure/AAS	vorl. Unters. ⁴
Mg	S.Georg.	Böden	20-620	µg/g	?	SMITH & FRENCH 1988
	Signy I.	Fels	1,23-2,52	µg/g	Säure/AAS	HALL et al. 1986
	Signy I.	Böden	80-1700	µg/g	?	SMITH & FRENCH 1988
	Eleph. I.	Böden	0,6-5,5	µg/g	?	O'BRIEN et al. 1979
	K.G. I.	Orn. Böden	4-22	µg/g	H ₂ O	MYRCHA & TATUR 1991
	Ant.PenI.	Böden	0,8-10,9	meq/100g	?	EVERETT 1976
	Casey	Böden	0,66-2,82	%	H ₂ SO ₄ /X-ray Spect.	HEATWOLE et al. 1989
	Arctowski	Böden, Obfl.	65,4-270	µg/g	H ₂ O	vorl. Unters. ³
	Arctowski	Böden, Tief.	63,8-192	µg/g	H ₂ O	vorl. Unters. ³
	Casey	Böden, Obfl.	0-390	µg/g	H ₂ O	vorl. Unters. ³
	Casey	Böden, Tief.	8,2-130	µg/g	H ₂ O	vorl. Unters. ³
	Ca	S.Georg.	Böden	50-10469	µg/g	?
Signy I.		Böden	490-6310	µg/g	?	SMITH & FRENCH 1988
Signy I.		Böden	0,1-0,3	%	?	BOOTH & USHER 1985
Signy I.		Fels	6,6-10,8	µg/g	Säure/AAS	HALL et al. 1986

	Ort ¹	Material	Menge	Einh.	Extr.-Mittel ³	Referenz
Ca	Eleph. I.	Böden	0.01-40.4	µg/g	?	O'BRIEN et al. 1979
	K.G. I.	Orn. Böden	3-99	µg/g	H ₂ O	MYRCHA & TATUR 1991
	Ant.PenI.	Böden	0.6-16.8	meq/100g	?	EVERETT 1976
	Casey	Böden	1.3-9.8	%	H ₂ SO ₄ / X-ray Spect.	HEATWOLE et al. 1989
Arctowski	Böden, Obfl.	103-488	µg/g	H ₂ O	vorl. Unters. ³	
	Arctowski	Böden, Tief.	108-344	µg/g	H ₂ O	vorl. Unters. ³
	Casey	Böden, Obfl.	0-466	µg/g	H ₂ O	vorl. Unters. ³
	Casey	Böden, Tief.	0-504	µg/g	H ₂ O	vorl. Unters. ³
Fe	Signy I.	Fels	0-0.37	µg/g	Säure/AAS	HALL et al. 1986
	Casey	Böden	1.8-4.75	%	H ₂ SO ₄ / X-ray Spect.	HEATWOLE et al. 1989
	Arctowski	Böden, Obfl.	4.1-48.0	mg/g	Säure/AAS	vorl. Unters. ⁴
	Arctowski	Böden, Tief.	13.4-60.8	mg/g	Säure/AAS	vorl. Unters. ⁴
	Casey	Böden, Obfl.	10.7-64.6	mg/g	Säure/AAS	vorl. Unters. ⁴
	Casey	Böden, Tief.	26.0-67.9	mg/g	Säure/AAS	vorl. Unters. ⁴
Mn	Casey	Böden	0.04-0.14	%	H ₂ SO ₄ / X-ray Spect.	HEATWOLE et al. 1989
	Arctowski	Böden, Obfl.	450-1287	µg/g	Säure/AAS	vorl. Unters. ⁴
	Arctowski	Böden, Tief.	725-2960	µg/g	Säure/AAS	vorl. Unters. ⁴
	Casey	Böden, Obfl.	144-799	µg/g	Säure/AAS	vorl. Unters. ⁴
	Casey	Böden, Tief.	0-408	µg/g	Säure/AAS	vorl. Unters. ⁴
Cd	Arctowski	Böden, Obfl.	0	µg/g	Säure/AAS	vorl. Unters. ⁴
	Arctowski	Böden, Tief.	0	µg/g	Säure/AAS	vorl. Unters. ⁴
	Casey	Böden, Obfl.	0	µg/g	Säure/AAS	vorl. Unters. ⁴
	Casey	Böden, Tief.	0	µg/g	Säure/AAS	vorl. Unters. ⁴
Co	Arctowski	Böden, Obfl.	2.0-3.6	µg/g	Säure/AAS	vorl. Unters. ⁴
	Arctowski	Böden, Tief.	2.3-7.5	µg/g	Säure/AAS	vorl. Unters. ⁴
	Casey	Böden, Obfl.	0-17.8	µg/g	Säure/AAS	vorl. Unters. ⁴
	Casey	Böden, Tief.	4.4-12.7	µg/g	Säure/AAS	vorl. Unters. ⁴
Cu	Signy I.	Fels	0,07 - 0,14	µg/g	Säure/AAS	HALL et al. 1986
	Arctowski	Böden, Obfl.	0 - 98,1	µg/g	Säure/AAS	vorl. Unters. ⁴
	Arctowski	Böden, Tief.	18,5 - 148	g/g	Säure/AAS	vorl. Unters. ⁴
	Casey	Böden, Obfl.	0,1 - 40,2	µg/g	Säure/AAS	vorl. Unters. ⁴
	Casey	Böden, Tief.	9,1 - 42,8	µg/g	Säure/AAS	vorl. Unters. ⁴
Ni	Arctowski	Böden, Obfl.	9.2-20.1	µg/g	Säure/AAS	vorl. Unters. ⁴
	Arctowski	Böden, Tief.	6.9-24.0	µg/g	Säure/AAS	vorl. Unters. ⁴
	Casey	Böden, Obfl.	0	µg/g	Säure/AAS	vorl. Unters. ⁴
	Casey	Böden, Tief.	0	µg/g	Säure/AAS	vorl. Unters. ⁴
Pb	Casey	Fels	5-80	µg/g	Säure	BLIGHT & OLIVER 1977
	Arctowski	Böden, Obfl.	0.1-14.7	µg/g	Säure/AAS	vorl. Unters. ⁴
	Arctowski	Böden, Tief.	0.3-11.2	µg/g	Säure/AAS	vorl. Unters. ⁴
	Casey	Böden, Obfl.	0.9-43.8	µg/g	Säure/AAS	vorl. Unters. ⁴
	Casey	Böden, Tief.	2.7-7.5	µg/g	Säure/AAS	vorl. Unters. ⁴
Sr	Arctowski	Böden, Obfl.	0-594	µg/g	Säure/AAS	vorl. Unters. ⁴
	Arctowski	Böden, Tief.	0-308	µg/g	Säure/AAS	vorl. Unters. ⁴
	Casey	Fels	25-1063	µg/g	Säure	BLIGHT & OLIVER 1977
	Casey	Böden, Obfl.	0,8-171	µg/g	Säure/AAS	vorl. Unters. ⁴
	Casey	Böden, Tief.	9-4-81.5	µg/g	Säure/AAS	vorl. Unters. ⁴
Zn	Arctowski	Böden, Obfl.	0-74.8	µg/g	Säure/AAS	vorl. Unters. ⁴
	Arctowski	Böden, Tief.	36.9-163	µg/g	Säure/AAS	vorl. Unters. ⁴
	Casey	Böden, Obfl.	7.1-80.3	µg/g	Säure/AAS	ovrl. Unters. ⁴
	Casey	Böden, Tief.	28.6-87.5	µg/g	Säure/AAS	vorl. Unters. ⁴

Tab. 5: Bereiche von Nährstoff- und Elementgehalten in polaren Böden im Vergleich zu den bei Arctowski und Casey gemessenen Werten.

¹ Abkürzungen der Orte: Ant.PenI.= Antarktische Halbinsel, Eleph. I.= Elephant Island, K.G. I.= King George Island, Ross I.= Ross Island, S.Georg.= Südgeorgien, Signy I.= Signy Island, South Orkneys, Spitzb.= Spitzbergen (Hornsund). ² Extraktionsmittel/Verfahren (AAS = Atomabsorptionsspektroskopie). ³ Daten der Expeditionen 1985/86, 1986/87 und 1989/90. ⁴ Daten von H. Hennig (pers. Mitt.), Expeditionen 1985/86 und 1986/87.

Tab. 5: Ranges of contents of nutrients and elements from different polar soils in relation to those from Arctowski and Casey.

zessen zu Verfügung. Auf die besondere Schwierigkeit, die aktuellen Verhältnisse des Wassers zu beschreiben, verweist SMILES (1988).

Damit in Zusammenhang ist die Porengrößenabnahme zu sehen sowie die dadurch mittelbar verringerte Gasdiffusion. Optimale Zustände der Bodenluftfeuchte liegen bei etwa 50 % Sättigung des Porenvolumens (FREYTAG et al. 1987). Diese Autoren machen aber auch den Hinweis, daß sich Optima der Bodenrespiration auch bei viel niedrigeren Wassergehalten (3,5 % Wassergehalt und 12 % Sättigung des Porenvolumens) einstellen können. Jedoch beschreiben WILSON & GRIFFIN (1975) derartige Werte als absolut limitierend für mikrobielle Respiration.

Die Bedeutung der Temperatur für die untersuchten Stoffwechselprozesse geht aus den verschiedenen Datensätzen des Glucoseumsatzes, des Gaswechsels und der Sauerstoffzehrung hervor. Es bleibt aber das Problem der Übertragung der Laborexperimente auf das natürliche System. Zwar konnten bei Untersuchungen auf Casey mit der Gaswechsellmethode ähnliche CO₂-Produktionsraten für einzelne Temperaturen gefunden werden. Es bleibt aber die Schwierigkeit der Simulierung der Umweltbedingungen im Labor. Dies mag am Beispiel der Temperaturprofile erläutert werden: Die Variabilität in diesen Kleiräumen ist sehr groß, und nur hochauflösende Darstellungen zeigen die deutlichen Unterschiede in den Biotopen. Dies wird an den unterschiedlichen Ergebnissen der Temperaturwerte der Sensoren deutlich: Die Lufttemperatur hat Schwankungen im Bereich mehrerer Grad, die sich abgeschwächt, aber noch deutlich, in der Oberfläche des Bodens widerspiegelt. Der Temperaturgang in nur 1 cm Bodentiefe ist zwar schon stark gedämpft, verläuft aber noch deutlich entsprechend der Lufttemperatur, ist also in erster Linie geprägt durch die Einstrahlung (vgl. BÖLTER 1992).

Bezogen auf die biologischen Prozesse im Boden heißt dies: Die Oberflächenhorizonte der Böden, und in ähnlicher Weise die Pflanzen, sind durch ein sehr stark fluktuierendes Temperaturmuster geprägt. Die hier lebende mikrobielle Population ist einem starken Stress durch die Temperatur und damit verbundenen Parametern, insbesondere der Feuchte und damit verbundenen osmotischen Prozessen, ausgesetzt. In weit geringerem Maße trifft dies für die tieferen Horizonte zu.

Der Stress in den Oberflächenhorizonten kann aber auch positive Effekte haben, wie zum Beispiel den, daß er stimulierend auf den Stoffwechsel wirken kann. Dies wurde zwar oben schon für den kritischen Bereich um den Gefrierpunkt diskutiert, könnte aber für weitere Bereiche ausgedehnt werden. Für bilanzierende Modelle ist gerade diese Zone wechselnder Umweltbedingungen interessant. In den Fällen einer aktiven Oberflächenschicht muß den dort herrschenden Bedingungen Rechnung getragen werden. Die effektive Tiefe ist dann als weitere Variable einzuführen, die wiederum ist abhängig vom Wassergehalt und der Bodensubstanz durch ihren Einfluß auf die Temperaturleitfähigkeit. Weiterhin sind von Bedeutung die Zeiten der Erwärmung und Abkühlung sowie die effektive Zeitspanne eines Temperaturbereichs. Die Berücksichtigung all dieser

Faktoren ist von einfachen Modellen nicht zu leisten und der Grad der Vereinfachung entscheidet über ihre Aussagefähigkeit.

DANKSAGUNG

Unser Dank richtet sich insbesondere an Prof. Dr. S. Rakusa-Suszczewski, Polish Academy of Sciences, Institute for Antarctic Biology, und an Dr. R. Seppelt, Australian Antarctic Division, für die Einladungen und Möglichkeiten, auf den Station Polens bzw. Australiens in der Antarktis arbeiten zu können. Wir möchten uns aber auch bei all jenen herzlich bedanken, die mit uns auf den Stationen gearbeitet haben und uns logistisch oder wissenschaftlich unterstützt haben, insbesondere Herrn A. Kühn und Dr. R. Lewis Smith. Herrn W. Dzumla, Institut für Polarökologie, danken wir für die Anfertigung der Zeichnungen, er und Frau Kneesch, Institut für Bodenkunde, waren auch bei der Probenbearbeitung im Labor mit verantwortlich. Die Projekte wurden gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG Ka 390/6, Bo 918/4, BI 91/29) und der Antarctic Division, Kingston, Australien.

Literatur

- Alexandrova, V.D. (1980): The Arctic and Antarctic: their distribution into geobotanical areas.- Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Allen, A.E. & Heal, O.W. (1970): Soils of the maritime Antarctic zone.- In: M.W. HOLDGATE (Hrsg.), Antarctic ecology 1. 693-696, Academic Press, London.
- Aubert, H. & Pinta, M. (1977): Trace elements in soil. Elsevier, Amsterdam.
- Barsch, D., Blümel, W.-D., Flügel, W.-A., Müsbacher, R., Stäblein, G. & Zick, W. (1985): Untersuchungen zum Periglazial auf der König-Georg-Insel, Südshetlandinseln/Antarktika.- Ber. Polarforsch. 24: 1-75.
- Beyer, L., Blume, H.-P. & Bölker, M. (1995): Die organische Bodensubstanz in Bh-Horizonten von Podsolen Norddeutschlands und früheren Pinguinkolonien der Küstenregion in der kontinentalen Antarktis.- Mitt. Dtsch. Bodenk. Ges. 76: 737-740.
- Birkenmajer, K. (1981): Raised marine features and glacial history in the vicinity of the H. Arctowski Station, King George Island (South Shetlands, West Antarctica).- Bull. Acad. Ser. Sc. Terre 29: 109-117.
- Birkenmajer, K. (1989): A guide to tertiary geochronology of King George Island, West Antarctica.- Pol. Polar Res. 10: 555-579.
- Black, R.F. (1973): Cryomorphic processes and micro-relief features, Victoria Land, Antarctica.- In: B.D. FAHEY & R.D. THOMPSON, Research on Polar and Alpine Geomorphology, 11-24, Proc. 3rd Guelph Symp. Geomorphology. Norwich.
- Blight, D.F. & Oliver, R.L. (1977): The metamorphic geology of the Windmill Islands, Antarctica: A preliminary account.- J. Geol. Soc. Austral. 24: 239-262.
- Blume, H.-P., Bölker, M. (1993a): Soils of Casey Station (Wilkes Land, Antarctica).- Proc. Joint Russian-American Seminar on Cryopedology and Global Change, 96-106, Pushchino.
- Blume, H.-P., Bölker, M. (1993b): Podsole, Leptosole und Regosole der Antarktis.- Mitt. Dtsch. Bodenk. Ges. 72: 843-846.
- Blume, H.-P. & Bölker, M. (1994): Podzolisation processes in Antarctic soils (Abstract).- XXI Polar Symposium, Inst. Antarctic Biology, 231, Polish Academy of Sciences, Warszawa.
- Blume, H.-P. & Bölker, M. (1996): Wechselwirkungen zwischen Boden- und Vegetationsentwicklung in der kontinentalen Antarktis.- Verh. Ges. Ökol. 25: 25-34.
- Blume, H.-P., Schneider, D. & Bölker, M. (1996): Organic matter accumulation in and podzolization of Antarctic soils.- Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 159: 411-412.

- Blume, H.-P., Beyer, L., Bölter, M., Erlenkeuser, H., Kalk, E., Kneesch, S., Pfisterer, U. & Schneider, D. (im Druck): Pedogenetic zonation in soils of the southern circum-polar region.- Adv. Geocool.
- Bockheim, J.G. (1995): Permafrost distribution in the southern circumpolar region and its relation to the environment: a review and recommendations for further research.- Permafrost Perigl. Proc. 6: 27-45.
- Bockheim, J.G. & Ugolini, F.C. (1990): A review of pedogenic zonation in well-drained soils of the southern circumpolar region.- Quatern. Res. 34: 47-66.
- Bölter, M. (1989): Microbial activity in soils from Antarctica (Casey Station, Wilkes Land).- Proc. NIPR Symp. Polar Biol. 2: 146-153.
- Bölter, M. (1990a): Evaluation - by cluster analysis - of descriptors for the establishment of significant subunits in Antarctic soils.- Ecol. Modell. 50: 79-94.
- Bölter, M. (1990b): Microbial ecology of soil from Wilkes Land, Antarctica. I. The bacterial population and its activity in relation to dissolved organic matter.- Proc. NIPR Symp. Polar Biol. 3: 104-119.
- Bölter, M. (1990c): Microbial ecology of soil from Wilkes Land, Antarctica. II. Patterns of microbial activity and related organic and inorganic matter.- Proc. NIPR Symp. Polar Biol. 3: 120-132.
- Bölter, M. (1992): Environmental conditions and microbiological properties from soils and lichens from Antarctica (Casey Station, Wilkes Land).- Polar Biol. 11: 591-599.
- Bölter, M. (1993): Vergleichende Untersuchungen zur mikrobiellen Aktivität in Böden und an Kryptogamen aus der kontinentalen und maritimen Antarktis (Casey, Wilkes Land, und Arctowski, King George Island).- Habilitationsschrift, 203 S., Universität Kiel.
- Bölter, M. (1995): Distribution of bacterial numbers and biomass in soils and on plants from King George Island (Arctowski Station, Maritime Antarctica).- Polar Biol. 15: 115-124.
- Bölter, M., Kappen, L. & Meyer, M. (1989): The influence of microclimatic conditions on potential photosynthesis of *Usnea sphacelata* - a model.- Ecol. Res. 4: 297-307.
- Bölter, M., Blume, H.-P. & Erlenkeuser, H. (1994): Pedologic, isotopic and microbiological properties of Antarctic soils.- Polarforschung 64: 1-7.
- Booth, R.G. & Usher, M.B. (1985): Variation in the physical and chemical environment of a maritime Antarctic moss-turf.- Brit. Antarct. Surv. Bull. 67: 25-40.
- Boyd, W.L. & Boyd, J.W. (1963): Soil microorganisms of the McMurdo Sound area, Antarctica.- Appl. Microbiol. 11: 116-121.
- Cameron, R.E. & Goldthwait, R.D. (1961): The US-IGY contribution to Antarctic geology.- Union Geodesie Geographique, Assoc. Internat. d'Hydrologie Scient. 55: 7-13.
- Cameron, R.E. & Benoit, R.E. (1970): Microbial and ecological investigations of recent cinder cones, Deception Island, Antarctic - a preliminary report.- Ecology 51: 802-809.
- Cameron, R.E., King, J. & David, C.N. (1970): Soil microbial ecology of Wheeler Valley, Antarctica.- Soil Sci. 109: 110-120.
- Campbell, I.B. & Claridge, G.G.C. (1987): Antarctica: Soils, weathering processes and environment.- Elsevier, Amsterdam.
- Chambers, M.J.G. (1966a): Investigations of patterned ground at Signy Island, South Orkney Islands. II. Temperature regimes in the active layer.- Brit. Antarct. Surv. Bull. 10: 71-83.
- Chambers, M.J.G. (1966b): Investigations of patterned ground at Signy Island, South Orkney Islands. I. Interpretation of mechanical analysis.- Brit. Antarct. Surv. Bull. 9: 21-40.
- Chambers, M.J.G. (1967): Investigations of patterned ground at Signy Island, South Orkney Islands. III. Miniature patterns, frost heaving and general conclusions.- Brit. Antarct. Surv. Bull. 12: 1-22.
- Chapin III, F.S., Fetcher, N., Kielland, K., Everett, K.R. & Linkins, A.E. (1988): Productivity and nutrient cycling of Alaskan tundra: enhancement by flowing soil water.- Ecol. 69: 693-702.
- Christie, P. (1987): Nitrogen in two contrasting Antarctic bryophyte communities.- J. Ecol. 75: 73-93.
- Claridge, G.G.C. & Campbell, I.B. (1984): Mineral transformations during the weathering of dolerit under cold and arid conditions.- N.Z. J. Geol. Geophys. 27: 537-545.
- Claridge, G.G.C. & Campbell, I.B. (1985): Physical Geography -Soils.- In: W.N. BONNER & D.W.H. WALTON, (eds.), Antarctica, 62-70, Pergamon Press, Oxford.
- Collins, N.J., Baker, J.H. & Tillbrook, P.J. (1975): Signy Island, Antarctica.- In: T. ROSSWALL & O.W. HEAL (eds.), Structure and function of tundra ecosystems, Ecol. Bull. 20: 345-374.
- Crittenden, P.D. & Kershaw, K.A. (1978): Discovering the role of lichens in the nitrogen cycle in Boreal-Arctic ecosystems.- The Bryol. 81: 258-267.
- Cygan, B. (1981): Characteristics of meteorological conditions at Arctowski Station during the summer season of 1979/1980.- Pol. Polar Res. 2: 35-46.
- Czarnowska, K. & Gworek, B. (1990): Geochemical background values for trace elements in arable soils developed from sedimentary rocks of glacial origin.- Environ. Geochem. Health 12: 289-290.
- Davey, A. (1982): In situ determination of nitrogen fixation in Antarctica using a high sensitivity portable gas chromatograph.- Austr. J. Ecol. 7: 395-402.
- Davey, A. (1983): Effects of abiotic factors on nitrogen fixation by blue-green algae in Antarctica.- Polar Biol. 2: 95-100.
- Davey, A. & Marchant, H.J. (1983): Seasonal variation in nitrogen fixation by *Nostoc commune* Vaucher at the Vestfold Hills, Antarctica.- Phycologia 22: 377-385.
- Dunican, L.K. & Rosswall, T. (1974): Taxonomy and physiology of tundra bacteria in relation to site characteristics. - In: A.J. HOLDING, O.W. HEAL, S.F. MACLEAN & P.W. FLANAGAN (eds.), Soil Organisms and Decomposition in Tundra, 79-92, IBP Tundra Biome Steering Committee, Stockholm.
- Eriksson, E. (1952): Composition of atmospheric precipitation. II. Nitrogen.- Särtyk ur Tellus 4: 215-232.
- Everett, K.R. (1971): Soils of the Meserve Glacier area, Wright Valley, Southern Victoria Land, Antarctica.- Soil Sci. 112: 425-438.
- Everett, K.R. (1976): A survey of the soils in the region of the South Shetland Islands and adjacent parts of the Antarctic Peninsula.- Institute Polar Studies, The Ohio State University, Res. Foundation, Columbus, Ohio. Rep. No. 58, 1-44.
- Fabiszewski, J. & Wojtun, B. (1993): Peat-forming vegetation.- In: S. RAKUSA-SUSZCZEWSKI (ed.), The Maritime Antarctic Coastal Ecosystem of Admiralty Bay, 189-195, Dept. Antarctic Biology, Pol. Acad. Sci., Warsaw.
- FAO-UNESCO (1989): Soil map of the world; revised legend.- FAO, Rome.
- Ferris, J.M., Burton, H.R., Johnson, G.W. & Bayly, I.A.E. (eds.) (1988): Biology of the Vestfold Hills, Antarctica. - Kluwer Acad. Publ., Dordrecht.
- Fog, K. (1988): The effect of added nitrogen on the rate of decomposition of organic matter.- Biol. Rev. 63: 433-462.
- Fogg, E.G. & Stewart, W.D.P. (1968): In situ determinations of biological nitrogen fixation in Antarctica.- Brit. Antarct. Surv. Bull. 15: 39-46.
- Freytag, H.E., Jäger, R. & Lüttich, M. (1987): Berechnung des Temperatur- und Feuchteinflusses auf die Bodenatmung auf zwei verschiedenen Wegen.- Arch. Acker- Pflanzenbau Bodenkd. 31: 513-520, Berlin.
- Gersper, P.L., Alexander, V., Barkley, S.A., Barsdate, R.J. & Flint, P.S. (1980): The soils and their nutrients.- In: J. BROWN, P.C. MILLER, L.L. TIESZEN & F.L. BUNNELL (eds.), An Arctic Ecosystem. The Coastal Tundra at Barrow, Alaska, 219-254, Dowden, Hutchinson & Ross, Stroudsburg.
- Giller, K.E. (1987): Use and abuse of the acetylene reduction assay for measurement of „associative“ nitrogen fixation.- Soil Biol. Biochem. 19: 783-784.
- Glasby, G.P., McPherson, J.G., Kohn, B.P., Keys, J.R., Freemant, A.G. & Tricker, M.J. (1981): Desert varnish in southern Victoria Land, Antarctica.- N.Z. J. Geol. Geophys. 24: 389-397.
- Greenfield, L.G. (1991): Fixed ammonium in Antarctic rocks and soils and a possible cause of underestimation.- Soil Biol. Biochem. 23: 397-399.
- Greenfield, L.G. (1992): Precipitation nitrogen at maritime Signy Island and continental Cape Bird, Antarctica.- Polar Biol. 11: 649-653.
- Hall, K. (1988): Daily monitoring of a rock tablet at a maritime Antarctic site: moisture and weathering results.- Brit. Antarct. Surv. Bull. 79: 17-25.
- Hall, K.J., Verbeek, A.A. & Meiklejohn, K.I. (1986): A method for the extraction and analysis of solutes from rock samples with some comments on the implications for weathering studies: an example from Signy Island, Antarctica.- Brit. Antarct. Surv. Bull. 70: 79-84.
- Hancock, R.J. & Seppelt, R.D. (1988): Habitat specificity and morphological variation in two Antarctic *Usnea* species.- Polarforschung. 58: 285-291.
- Hardy, R.W.F., Burns, R.C., & Holsten, R.D. (1973): Applications of the acetylene-ethylene assay for measurement of nitrogen fixation.- Soil Biol. Biochem. 5: 47-81.

- Harrison, A.F. (1983): Relationship between intensity of phosphatase activity and physicochemical properties.- *Soil Biol. Biochem.* 15: 93-99.
- Heatwole, H., Saenger, P., Spain, A., Kerry, E. & Donelan, J. (1989). Biotic and chemical characteristics of some soils from Wilkes Land, Antarctica.- *Antarct. Sci.* 1: 225-234.
- Henry, G.H.R. & Svoboda, J. (1986): Dinitrogen fixation (Acetylene reduction) in high arctic sedge meadow communities.- *Arct. Alp. Res.* 18: 181-187.
- Hinneri, S. (1974): Podzolic processes and bioelement pools in subarctic forest soils at the Kevo Station, Finnish Lapland.- *Rep. Kevo Subarctic Res. Stat.* 11: 26-34.
- Holdgate, M.W., Allen, S.E. & Chambers, M.J.G. (1967): A preliminary investigation of the soils of Signy Island, South Orkney Islands.- *Brit. Antarct. Surv. Bull.* 12: 53-71.
- Ino, Y. & Nakatsubo, T. (1986): Distribution of carbon, nitrogen and phosphorus in a moss community-soil system developed on a cold desert in Antarctica.- *Ecol. Res.* 1: 59-69.
- Jacobsen, P. & Kappen, L. (1988): Lichens from the Admiralty Bay region, King George Island (South Shetland Islands, Antarctica).- *Nova Hedwigia* 46: 503-510.
- Kallio, P. & Kallio, S. (1978): Adaptation of nitrogen fixation to temperature in the *Peltigera-Aphthosa*-group.- *Ecol. Bull.* 26: 225-233.
- Kanda, H., Inoue, M., Mochida, Y., Sugawa H., Ino, Y., Ohtani, S. & Ohyama, Y. (1990): Biological studies on ecosystems in the Yukidori Valley, Langhovede, East Antarctica.- *Antarct. Rec.* 34: 76-93.
- Kappen, L., Meyer, M. & Bölter, M. (1988): Photosynthetic production of the lichen *Ramalina terebrata* Hook. f. et Tayl., in the western Antarctic.- *Polarforschung* 58: 181-188.
- Kappen, L., Meyer, M. & Bölter, M. (1990): Ecological and physiological investigations in continental Antarctic cryptogams. I. Vegetation pattern and its relation to snow cover on a hill near Casey Station, Wilkes Land.- *Flora* 194: 209-220.
- Kerry, E. (1990): Effects of temperature on growth rates of fungi from subantarctic Macquarie Island and Casey, Antarctica.- *Polar Biol.* 10: 293-299.
- Kershaw, K.A. & Dzinowski, P.A. (1977): Physiological-environmental interactions in lichens. VI. Nitrogenase activity in *Peltigera polydactyla* after a period of desiccation.- *New Phytol.* 79: 417-421.
- Kershaw, K.A., MacFarlane, J.D. & Tysiaczny, P. (1977): Physiological-environmental interactions in lichens. V. The interaction of temperature with nitrogenase activity in the dark.- *New Phytol.* 79: 409-416.
- Klepper, O. & van den Kamer, J.P.G. (1987): The use of mass balances to test and improve the estimates of carbon fluxes in an ecosystem.- *Math. Biosci.* 85: 37-49.
- Leonardi, J.M., Marchetti, C., Monticelli, L. & Osterrieth, M. (1987): Caracterización preliminar de un histosol antártico bajo gramíneas.- *Contr. Cient. Inst. Antártico Argentino* 340: 1-17.
- Lewis Smith, R.I.L. (1985): Nutrient cycling in relation to biological productivity in Antarctic and Sub-Antarctic terrestrial and freshwater ecosystems.- In: W.R. SIEGFRIED, P.R. CONDY & R.M. LAWS (eds.), *Antarctic Nutrient Cycles and Food Webs*, 138-155, Springer, Berlin.
- Lewis Smith, R.I.L. (1986): Plant ecological studies in the fellfield ecosystem near Casey Station, Australian Antarctic Territory, 1985-1986.- *Brit. Antarct. Surv. Bull.* 72: 81-91.
- Lindeboom, H.J. (1979): Chemical and microbiological aspects of the nitrogen cycle on Marion Island (Sub-Antarctic).- Ph.D. Thesis, Univ. Groningen.
- Longton, R.E. (1985): Terrestrial habitats - Vegetation.- In: W.N. BONNER & D.W.H. WALTON (eds.), *Antarctica*, 73-105, Pergamon Press, Oxford.
- MacFarlane, J.D. & Kershaw, K.A. (1977): Physiological-environmental interactions in lichens. IV. Seasonal changes in the nitrogenase activity of *Peltigera canina* var. *praetextata* Hue and *P. canina* var. *rufuscens* (Weiss) Mudd.- *New Phytol.* 79: 403-408.
- MacFarlane, J.D. & Kershaw, K.A. (1980). Physiological-environmental interactions in lichens. IX. Thermal stress and lichen ecology.- *New Phytol.* 84: 669-685.
- McKeague, J.A. & Wolynetz, M.S. (1980): Background levels of minor elements in some Canadian soils.- *Geoderma* 24: 299-307.
- Melick, D.R., Hovenden, M.J. & Seppelt, R.D. (1994): Phytogeography of bryophyte and lichen vegetation in the Windmill Islands, Wilkes Land, Continental Antarctica.- *Vegetatio* 111: 71-87.
- Meyer, M.A., Huang, G.H., Morris, G.J. & Friedmann, E.I. (1988): The effect of low temperature on Antarctic endolithic green algae.- *Polarforschung* 58: 113-119.
- Mortvedt, J.J., Giordano, P.M. & Lindsay, N.L. (eds.) (1972): *Micronutrients in Agriculture*.- *Soil Sci. Soc. Am.*, Madison.
- Nakatsubo, T. & Ino, Y. (1986): Distribution of nitrogen in moss communities in east Antarctica (extended abstract).- *Mem. Natl. Inst. Polar Res., Spec. Issue* 44: 257-258.
- Nakatsubo, T. & Ino, Y. (1987): Nitrogen cycling in an Antarctic ecosystem: 2. Estimation of the amount of nitrogen fixation in a moss community on East Ongul Island (Antarctica).- *Ecol. Res.* 2: 31-40.
- Niemiec, J. & Rawa, Z. (1989): Meteorological data from Polish Antarctic station „H. Arctowski“ for 1987.- *Pol. Polar Res.* 10: 251-254.
- Nohrstedt, H.-Ö. (1983): Conversion factor between acetylene reduction and nitrogen fixation in soil: effect of water content and nitrogenase activity.- *Soil Biol. Biochem.* 15: 275-279.
- Northover, M.J. & Grimshaw, H.M. (1967): Seasonal trends in nutrient content of the soil of Signy Island, South Orkney Islands.- *Brit. Antarct. Surv. Bull.* 14: 83-88.
- Nowosielska, L. (1980): Meteorological conditions at Arctowski Station in 1978 (King George Island, South Shetland Islands).- *Pol. Polar Res.* 1: 83-93.
- O'Brien, R.M.G., Romans, J.C.C. & Roberston, L. (1979): Three soil profiles from Elephant Island, South Shetland Islands.- *Brit. Antarct. Surv. Bull.* 47: 1-12.
- Olech, M. (1993): Lower plants.- In: S. RAKUSA-SUSZCZEWSKI (ed.), *The maritime Antarctic coastal ecosystem of Admiralty Bay*, 173-179, *Rep. Antarct. Biol., Pol. Acad. Sci., Warsaw*.
- Orren, M.J. & Monteiro, P.M.S. (1985): Trace element geochemistry in the Southern Ocean.- In: W.R. SIEGFRIED, P.R. CONDY & R.M. LAWS (eds.), *Antarctic Nutrient Cycles and Food Webs*, 30-37, Springer, Berlin.
- Parker, B.C., Heiskell, L.E. & Thompson, W.J. (1978): Non-biogenic fixed nitrogen in Antarctica and some ecological implications.- *Nature* 271: 651-652.
- Parker, B.C. & Zeller, E.J. (1979): Nitrogenous chemical composition of Antarctic ice and snow.- *Antarct. J. U.S.* 14: 80-82.
- Pecherzewski, K. (1987): Air pollution and natural sedimentation from the atmosphere in the region of the Admiralty Bay (South Shetland Islands).- *Pol. Polar Res.* 8: 145-151.
- Phillipot, H.R. (1985): Physical geography - climate.- In: W.N. BONNER & D.W.H. WALTON (eds.), *Antarctica*, 23-38, Pergamon Press, Oxford.
- Pickard, J. (1986): Antarctic oases, Davis Station and the Vestfold Hills.- In: J. PICKARD (ed.), *Antarctic Oasis*, 1-19, Academic Press, London.
- Pickard, J. & Seppelt, R.D. (1984): Phytogeography of Antarctica.- *J. Biogeogr.* 11: 83-102.
- Plichta, W. & Kuczyńska, I. (1991): Metal contents in soils of Kaffiöyra, Spitsbergen.- *Pol. Polar Res.* 12: 183-193.
- Plichta, W., Kuczyńska, I. & Sapek, A. (1991): Profile distribution of metals in Gelic Cambisols of Kaffiöyra, Spitsbergen.- *Pol. Polar Res.* 12: 195-201.
- Posch, A. (1977): Bodenkundliche Untersuchungen im Bereich der Großglocknerstraße in den Hohen Tauern in 2300 bis 2600 m Meereshöhe.- In: A. CERNUSCA (ed.), *Alpine Grasheide Hohe Tauern*, 111-121, Universitätsverlag Wagner, Innsbruck.
- Pride, D., Moody, S. & Rosen, M. (1981): Metallic mineralization, South Shetland Islands, Gerlache Strait, and Palmer Station.- *Antarct. J. U.S.* 16(5): 13-14.
- Pride, D. & Moody, S. (1982): Trace element chemistry of mineralized rocks, Livingston Island (South Shetlands) Gerlache Strait, an southern Anvers Island.- *Antarct. J. U.S.* 17(5): 43-45.
- Rakusa-Suszczewski, S. (ed.) (1993): *The maritime Antarctic coastal ecosystem of Admiralty Bay*. - *Rep. Antarct. Biol., Pol. Acad. Sci., Warsaw*.
- Rakusa-Suszczewski, S. & Krzyszowska, A. (1991): Assessment of the environmental impact of the „H. Arctowski“ Polish Antarctic Station (Admiralty Bay, King George Island, South Shetland Islands).- *Pol. Polar Res.* 12: 105-121.
- Robertson, R. (1959): Preliminary report on the bedrock geology of the Windmill Islands.- *The Ohio State University Research Foundation. Report* 825-2, Pt. 6, 1-25.
- Roser, D.J., Seppelt, R.D. & Ashbolt, N. (1993): Microbiology of ormithogenic soils from the Windmill Islands, Budd Coast, continental Antarctica: microbial biomass distribution.- *Soil Biol. Biochem.* 25: 165-175.

- Rosswall, T. (1981): The biogeochemical nitrogen cycle.- In: G.E. LIKENS (ed.), Some Perspectives of the Major Biogeochemical Cycles, 25-49, Wiley, Chichester.
- Scheffer/Schachtschabel (1984): Lehrbuch der Bodenkunde.- P. SCHACHTSCHABEL, H.-P. BLUME, K.H. HARTGE, U. SCHWERTMANN, G. BRÖMMER & M. RENGER, (Hrsg.), F. Enke, Stuttgart.
- Schinner, F. (1989): Mikrobielle Aktivitäten im Stickstoffkreislauf alpiner, subalpiner und montaner Böden in den Hohen Tauern.- In: A. CERNUSCA (Schriftlgt.), Struktur und Funktion von Graslandökosystemen im Nationalpark Hohe Tauern, 249-256, Universitätsverlag Wagner, Innsbruck.
- Schinner, F. & Gurschler, A. (1989): Bakterien-, Hefen- und ATP-Gehalte von Böden entlang einem Höhen transekt in den Hohen Tauern.- In: A. CERNUSCA (Schriftlgt.), Struktur und Funktion von Graslandökosystemen im Nationalpark Hohe Tauern, 233-238, Universitätsverlag Wagner, Innsbruck.
- Schinner, M. (1989): Blei-, Cadmium-, Zink- und Kupfergehalte der Vegetation im Bereich der Großglockner-Hochalpenstraße zwischen Heiligenblut und dem Hochtort.- In: A. CERNUSCA (Schriftlgt.), Struktur und Funktion von Graslandökosystemen im Nationalpark Hohe Tauern, 263-295, Universitätsverlag Wagner, Innsbruck.
- Schwerdtfeger, W. (1984): Weather and climate of the Antarctic.- Elsevier, Amsterdam.
- Smeck, N.E. (1973): Phosphorous: an indicator of pedogenic weathering processes.- Soil Sci. 115: 199-206.
- Smiles, D.E. (1988): Aspects of the physical environment of soil organisms.- Biol. Fert. Soils 6: 204-215.
- Smith, V.R. (1985): Heterotrophic acetylene reduction in soils at Marion Island.- In: W.R. SIEGFRIED, P.R. CONDY & R.M. LAWS (eds.), Antarctic Nutrient Cycles and Food Webs, 186-191, Springer, Berlin.
- Smith, V.R. & French, D.D. (1988): Patterns of variation in the climates, soils and vegetation of some subantarctic and Antarctic islands.- South Afr. J. Bot. 54: 35-46.
- Smith, V.R. & Russel, S. (1982): Acetylene reduction by bryophyte-cyanobacteria associations on a subantarctic island.- Polar Biol. 1: 153-157.
- Stevenson, F.J. (1982): Humus chemistry.- Wiley & Sons, New York.
- Stevenson, F.J. (1986): Cycles of soil. Carbon, nitrogen, phosphorous, sulfur, micronutrients.- Wiley & Sons, New York.
- Tatur, A. (1989): Ornithogenic soils of the maritime Antarctic.- Pol. Polar Res. 10: 481-532.
- Tatur, A. & Myrcha, A. (1993): Ornithogenic soils.- In: S. RAKUSA-SUSZCZEWSKI (ed.), The maritime Antarctic coastal ecosystem of Admiralty Bay, 161-165, Dep. Antarct. Biol., Pol. Acad. Sci., Warsaw.
- Tedrow, J. (1977): Soils of the polar landscapes.- Rutgers University Press, New Brunswick.
- Tosca, C. & Labroue, L. (1981): Le cycle de l'azote dans les milieux supra-forrestres des Pyrénées Centrales Contribution à l'évaluation des grains.- Oecol. Plant. 2: 41-52.
- Vincent, W.F. (1988): Microbial Ecosystems of Antarctica.- Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Walton, D.W.H. (1982): The Signy Island terrestrial reference sites: XV. Microclimatic monitoring, 1972-74.- Brit. Antarct. Surv. Bull. 55: 111-126.
- Wielbinska, D. & Skrzypczak, E. (1988): Mean air temperatures at definite wind directions at Arctowski Station, King George Island, West Antarctica.- Pol. Polar Res. 9: 133-145.
- Wilson, J.M. & Griffin, D.M. (1975): Water potential and the respiration of microorganisms in the soil.- Soil Biol. Biochem. 7: 199-204.
- Wynn-Williams, D.D. (1982): Simulation of seasonal changes in microbial activity of maritime Antarctic peat.- Soil Biol. Biochem. 14: 1-12.
- Wynn-Williams, D.D. (1984): Comparative respirometry of peat decomposition on a latitudinal transect in the maritime Antarctic.- Polar Biol. 3: 173-181.
- Zarzycki, K. (1993): Vascular plants and terrestrial biotopes.- In: S. RAKUSA-SUSZCZEWSKI (ed.), The maritime Antarctic coastal ecosystem of Admiralty Bay, 181-187, Dep. Antarct. Biol., Pol. Acad. Sci., Warsaw.