

Ludger Kappen, Botanisches Institut und Institut für Polarökologie
der Universität Kiel

Kieler terrestrisch-biologische Polarforschung

Vegetationskundler, Ökologen, Mikrobiologen und Bodenkundler aus Deutschland, die sich z.B. mit der Vegetation in der Antarktis beschäftigen wollten, haben sich bisher jeweils ausländischen Expeditionen, im Einzelfall auch einer deutschen geologisch-geophysikalischen Expedition der Bundesanstalt für Rohstoffe und Geowissenschaften, Hannover, (Ganovex II) angeschlossen. Dies erzeugte sehr bald gute Kooperationen mit Wissenschaftlern von Staaten, die eine terrestrische Antarktisstation unterhalten (bisher Argentinien, Australien, Chile, Neuseeland, Polen, Spanien, UK, USA). In dieser Saison 1997/98 startet ein von britischen Wissenschaftlern initiiertes Forschungsprogramm in Rothera (Adelaide Island, 68°S) mit Kieler Beteiligung. Es ist damit auch klar, daß immer nur einzelne deutsche Wissenschaftler mit kleinen Programmen Chancen fanden. Eine größere Initiative für ein koordiniertes terrestrisches Programm konnte so nicht entwickelt werden.

In der Arktis unterhalten die Anrainerstaaten wie Norwegen, Schweden, Finnland, USA, Canada und Rußland ihre eigenen Stationen, so daß auch hier deutsche Wissenschaftler nur mit Einzelprogrammen Zugang haben, es sei denn, daß Kooperationsprojekte geplant werden. Auf der einzigen deutschen Polarstation, der Koldeveystation in Spitzbergen, die seit 1993 besteht, wird bisher vor allem zoologisch gearbeitet. Dennoch sind gerade auf Spitzbergen etliche deutsche botanische Aktivitäten seit dem vorigen Jahrhundert zu verzeichnen.

Was zieht Botaniker und Mikrobiologen in die Antarktis?

Faszinierend für jeden Wissenschaftler ist immer die Begegnung mit dem gänzlich Unbekannten, Neuen. Nur wenige Bereiche der Erde blieben so wenig erschlossen wie die Polarregionen, insbesondere die Antarktis. So galt es zunächst, das Vorkommen von Pflanzen und Mikroorganismen in unerforschten Polargebieten aufzuspüren und zu beschreiben, was man unter einer Pflanzendecke in den einzelnen Regionen der hohen Arktis und der Antarktis verstehen kann. Kieler Botaniker und Mikrobiologen besuchten in der maritimen Antarktis die South Shetland Inseln (King George Island, Livingston Island, Deception Island) sowie die McMurdo Dry Valleys, Granite Harbour,

Birthday Ridge, Nordvictorialand, Casey und Davis in Wilkesland in der kontinentalen Ostantarktis.

Kieler Biologen haben sich seit 1979 an der Erforschung der unter besonders extremen Bedingungen gebildeten kryptoendolithischen Lebensgemeinschaften von Bakterien, Algen und Flechten im Beacon-Sandstein und von Bakterien im Boden der antarktischen McMurdo Dry Valleys im Rahmen eines von E.I. Friedmann, Tallahassee, initiierten US Programms beteiligt. So konnten Meßreihen zum Mikroklima und von biologischen Aktivitätsphasen im Zusammenhang mit lokalen Schneeschmelzereignissen aufgenommen werden und die CO₂ Gaswechselraten besiedelten Gesteins bestimmt werden (KAPPEN et al. 1981, KAPPEN und FRIEDMANN 1983). Ferner wurden einige der endolithischen Mikroorganismen aus dem Gestein und aus Böden isoliert und charakterisiert (HIRSCH et al. 1985, DAWID et al. 1988, HIRSCH et al. 1988, SIEBERT UND HIRSCH 1988).

Die große Artenvielfalt der Mikroorganismen im Porenraum des Beacon-Sandstein ist erstaunlich (SIEBERT et al. 1996). Es werden als Nahrungsgrundlage für diese Mikroorganismen Kohlenstoff- und Stickstoffverbindungen nachgewiesen sowie Vitamine, organische Säuren und Aminosäuren als Ausscheidungen der Mikroorganismen in verschiedenen Schichten des Felsgesteins identifiziert (SIEBERT et al. 1991). Die antibiotischen Aktivitäten sind gering, so daß verschiedene Organismen ein stabiles Kleinökosystem bilden können. Wichtig für die Existenz der Endolithen ist auch, daß sie ein Plasmid besitzen, das sie gegen Ampillicin und Chrom widerstandsfähig macht (GLIESCHE 1996). Neu wurde ein psychrophiler oder doch zumindest psychrotropher Actinomycet *Friedmaniella antarctica* entdeckt und beschrieben (SCHUMANN et al. 1997).

Die Untersuchungen von P. Hirsch und Mitarbeitern vom Institut für Allgemeine Mikrobiologie an Bodenbakterien in den Trockentälern und auch in Zusammenarbeit mit australischen Kollegen in den Vestfold Hills (Wilkesland) werden fortgesetzt. Das Aktivitätspotential der Mikroorganismen ist in diesen extrem trockenen und flachgründigen Frostböden hoch (PEISSL et al. 1995). Die Böden um die Station

Davis (Wilkesland) waren stark mit exotischen, also nicht antarktischen Mikroorganismen kontaminiert (HIRSCH und PEISSL 1994).

Ein besonderes Forschungsgebiet in der kontinentalen Antarktis sind die hypersalinen Seen, die aus ehemaligen Fjorden entstanden sind, als deren Verbindungen mit dem Ozean durch die Landhebung verloren gingen. Ekho Lake, Vestfold Hills (Wilkes Land) mit seiner maximalen Tiefe von 42 m ist heliothermal und meromiktisch; sein Tiefenprofil bietet für Mikroorganismen eine Vielzahl unterschiedlicher Lebensstandorte. HIRSCH & SIEBERT (1991a) untersuchten hier Schichtungen mit Salinitäten, die zwischen $< 10 \text{ ‰}$ (an der Oberfläche) und $> 185 \text{ ‰}$ (am Grunde) lagen, mit Temperaturen, die an den Haloklinen (Salzgrenzschichten) bis auf $+ 19 \text{ °C}$ anstiegen, und mit einem oxischen Bereich zwischen 0 und 24 m Tiefe. Die Arten-Diversität im Profil des Ekho Lakes erreichte 191 Morphotypen, von denen ca. 25 % Eukaryonten waren. Die Hauptprimärproduzenten des Ekho Lakes waren Praseophyceen (Flagellaten) der Gattung *Tetraselmis* (HIRSCH & SIEBERT, 1991b) aus den oberen 16 m des Profils. Gegenwärtig werden einige 50 Bakterien-Isolate aus dem Ekho Lake mit physiologischen, biochemischen und molekularbiologischen Methoden charakterisiert und identifiziert. Die Mehrzahl dieser Stämme sind vermutlich Vertreter neuer Taxa.

Ein anderer hypersaliner See, der Organic Lake, ist nur selten mit Eis bedeckt. Die Bodenschichten dieses Sees erreichen eine Salinität von $> 235 \text{ ‰}$, und trotz der geringen Tiefe von nur 7,2 m können die Temperaturen im See im Sommer bis auf $+ 16,5 \text{ °C}$ ansteigen (HIRSCH & BURTON, 1993). Die mikroskopische Untersuchung von Wasserproben aus dem „Organic Lake“ ergab 160 verschiedene Morphotypen. Mehrere Bakterienisolate aus dem Organic Lake konnten das Keratin aus Adelie Pinguin-Federn abbauen (HIRSCH, unveröffentlicht).

Seit 1984 führt M. Bölker, Institut für Polarökologie, bodenmikrobiologische Untersuchungen in der maritimen und der kontinentalen Antarktis durch. Es konnten die Produktion bakterieller Biomasse, Respiration und Enzymaktivitäten in Zusammenhang mit den mikroklimatischen Bedingungen beschrieben werden (BÖLTER 1992, 1993). Als im wesentlichen maßgebliche Standortfaktoren für die mikrobielle Aktivität erweisen sich die Verfügbarkeit von Substraten, Temperatur und Feuchtigkeit (BÖLTER 1995, MELICK et al. 1994). Die Aktivität wurde auch von Bodenalgeln und der Durchwurzelung des Bodens beeinflusst (BÖLTER 1996a, 1997). Auch wurden Bakteriengemeinschaften auf Oberflächen von Flechten

und den beiden Blütenpflanzen der Antarktis erkannt und beschrieben (BÖLTER 1997).

Die Beteiligung von H.P. Blume und Mitarbeitern vom Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde seit 1994 eröffnete neue Perspektiven aus bodenkundlicher Sicht. So konnten Podsolierung in maritim und kontinentalantarktischen Böden nachgewiesen werden (BÖLTER et al. 1994, 1995, BLUME et al. 1996, 1997). Dies war bisher für diese Region nicht für möglich gehalten worden. Aufbauend auf diese Erkenntnisse wurden weiterhin Wechselbeziehungen zwischen bodenbildenden Prozessen, Pflanzendecke, Detritus, Mikroorganismen und Invertebraten untersucht und mit den Verhältnissen in anderen Klimaten verglichen (BLUME und BÖLTER 1996, BEYER et al. 1997, BÖLTER et al. 1997). - Inzwischen wird ein internationales Programm entworfen, um den Einfluß globaler klimatischer Veränderungen auf die biologische Aktivität in antarktischen Böden zu erforschen (BOCKHEIM et al. 1993).

Floristische und vegetationskundliche Aspekte in der Antarktis

Vegetationsstrukturen, die mit arktischer Tundra vergleichbar sind, finden sich noch in der maritimen Antarktis. Hier sind an der Pflanzendecke auch Höhere Pflanzen (2 Arten) beteiligt. Die eine, *Deschampsia antarctica*, kann auf King George Island ausgedehnte Rasenflächen bilden. Ansonsten ist die Antarktis eine Region, in der nur Kryptogamen (Moose, Flechten, Algen) existieren (KAPPEN 1993a). Dies bildet einen krassen Gegensatz zur Vegetation der hohen Arktis, wo auch in den höchsten Breiten (84°N) so weit das Land reicht, nahezu 100 Phanerogamenarten verschiedener Lebensformen gemeinsam mit den Kryptogamen die Vegetation prägen. In der Antarktis mußten bisher viele Vegetationsaufnahmen lückenhaft bleiben, weil unsere Kenntnis der Moos- und Flechtenarten bis heute noch keineswegs abgeschlossen ist. Zur Revision der schwierigen Flechtengattung *Lecidea* in der Antarktis hat H. Hertel, München (1988) wesentlich beigetragen. Neufunde bzw. die Neubeschreibung von Arten sind immer noch möglich (z.B. SANCHO et al. 1997). Vegetationskundliche und phytosoziologische Untersuchungen erfolgten in der maritimen Antarktis sowie auf dem Kontinent (KAPPEN 1985a, JACOBSEN & KAPPEN 1988). Ein nach wie vor ungelöstes Problem sind Konkurrenzphänomene zwischen Moosen und Flechten, diesem hat sich z.Zt. die Kieler botanische Arbeitsgruppe von L. Kappen mit Studien auf King George Island zugewandt (F. SCHULZ, Institut für Polarökologie).

Die Begründung, warum es in der Antarktis so wenige oder weitgehend gar keine Blütenpflanzen gibt, kann sowohl chorologischer Art als

auch ökologisch-physiologisch bedingt sein. In mehrfacher Weise ist die Antarktis gänzlich isoliert und damit ein Florenaustausch extrem behindert. Die räumliche Entfernung von den übrigen Kontinenten wird durch zentrifugale Winde vom Pol und von einem Ring von Luftströmungen und -wirbeln verstärkt. Als hinderlich für das Einwandern von pflanzlichen Verbreitungseinheiten (Diasporen) durch die Luft erweist sich nicht nur die große Distanz des Kontinents zu den Ausläufern der Südkontinente sondern auch ein Ring von Zyklonen um den Kontinent. Lediglich zwischen Südamerika und der antarktischen Halbinsel sind die Luftströmungen für einen Diasporetransport günstig (KAPPEN 1993a). In die ostantarktische Region ist ein Transport eher auf Spiralbahnen also über lange Strecken vorstellbar (KAPPEN und STRAKA 1988). Neuere Untersuchungen anderer Autoren weisen Beziehungen zu den anderen Kontinenten auf und besonders auf die Tatsache hin, daß auf den antarktischen Vulkanen dieselben spezifischen Organismen vorkommen wie auf anderen Vulkanen der Erde.

Die Isolation der Antarktis hat aber auch eine zeitliche Dimension. Die Region ist im Gegensatz zur Arktis schon seit dem mittleren Tertiär vereist und bis heute unter eiszeitlichen Verhältnissen. Das hatte die gänzliche Auslöschung der ursprünglichen Vegetation und eine Einingung von terrestrischen Standorten auf Nunataks und isolierte eisfreie Areale vor allem in den Küstenregionen zur Folge. Hier konnten sich aber nur niedere Pflanzen behaupten oder ansiedeln. Man muß also davon ausgehen, daß die heutige Vegetation der Antarktis eher reimportiert ist bzw. durch den Austausch zwischen den eisfreien Gebieten gebildet wurde. Für diese Verhältnisse spricht auch der geringe Anteil an endemischen Arten, die sich ja eigentlich unter derart isolierten Bedingungen im besonderen Maße hätten bilden müssen (KAPPEN 1993a). Die lokale Ausbreitungsintensität, die Ansiedlung und die Etablierung von frühen Stadien von Flechten müssen untersucht werden. Sehr vieles spricht dafür, daß es in der Antarktis die klimatischen Bedingungen sind, die eine Ausbreitung von Blütenpflanzen verhindern. Das weltweit verbreitete Gras *Poa annua* kann für ein bis wenige Jahre in der maritimen Antarktis Fuß fassen, stirbt aber immer wieder aus. Es ist daher bemerkenswert, daß nur das Gras *Deschampsia antarctica* und das Nelkengewächs *Colobanthus quitensis* dort beständig existieren können, obwohl diese Pflanzen keinerlei besondere morphologische Anpassungen erkennen lassen.

Pflanzenleben unter den extremen Bedingungen der Antarktis

Es ist eine Hauptaufgabe unserer botanisch-ökophysiologischen Arbeitsgruppe im Botanischen Institut und am Institut für Polarökologie, die Existenz von Moosen, Flechten- und Algenarten unter den Extrembedingungen der Antarktis physiologisch und ökologisch zu untersuchen. Nicht einmal in der hohen Arktis ist das Wärmedefizit so groß wie in der Antarktis. Die sommerliche Erwärmung ist gering und meist mit großer Trockenheit verbunden. Antarktische Flechten erweisen sich als extrem kälteresistent. Sie ertragen tiefere Temperaturen, als unter natürlichen Bedingungen auf der Erde je zustande kommen (LANGE & KAPPEN 1972). Untersuchungen unserer Arbeitsgruppe in verschiedenen Regionen der Antarktis belegen (KAPPEN et al. 1981, KAPPEN 1985a, SANCHO et al. 1990, KAPPEN et al. 1990a, SCHROETER et al. 1995, SCHROETER et al. 1997a), wie Dichte und Ausdehnung der Vegetation sich im geographisch-klimatischen Gradienten verändern. Findet man noch ausgedehnte "Wiesen" oder "Heiden" in Küstenstrichen der maritimen (westlichen) Antarktis, so schrumpfen die Vegetationskomplexe auf kleine Felder oder eng begrenzte Flächen im Schutze von Felsblöcken zusammen. Im Hinterland bilden sich nur noch ganz lokal kleine Ansiedlungen von Flechten und Moosen auf Felsen oder in Felsspalten. Die engste Nische bildet das kryptoendolithische Mikroorganismensystem im Porenraum des Beacon-Sandsteins oder unter Granitschuppen insbesondere im Transantarktischen Gebirge von Südvictorialand (KAPPEN 1993a). Man kann die Bereiche mit Pflanzen und Kryptogamenbewuchs als Oasen bezeichnen (KAPPEN 1988). Solche Oasen sind durch die Feuchtebedingungen und einen für die Aktivität der Organismen relevanten Temperaturbereich charakterisierbar. Etwa 8°C ist in allen Regionen der Antarktis in der Regel die obere Temperaturgrenze für Lebensaktivität, denn wenn durch Sonnenstrahlung die Temperaturen des Substrats weiter steigen, trocknen die Kryptogamen aus (KAPPEN 1985b, SCHROETER et al. 1997a). Mithin leben z.B. Flechten hier stets weit unterhalb ihres physiologischen Optimums. Ausgerechnet in Granite Harbour (77°S), einem der südlichst gelegenen Standorte von Großflechten und Moosen in der Antarktis, ergaben Zeitreihenuntersuchungen, daß diese Organismen auch bei Temperaturen bis 17°C und starkem Sonnenlicht aktiv sein können. Dies ergibt sich aus der Tatsache, daß diese Flechten von Schmelzwasserbildung auf der

sich erwärmen den Felsoberfläche abhängig sind (KAPPEN & SCHROETER 1997, KAPPEN et al. 1998a, SCHROETER et al. 1997b).

Im Zuge des technischen Fortschrittes in der Meßtechnik und Elektronik war es in den vergangenen 20 Jahren möglich, physiologische Untersuchungen *in situ* und auch ganz besonders unter extremen Klimabedingungen durchzuführen. In Zusammenarbeit mit entsprechenden Herstellern gelang es der Kieler Gruppe z.T. Pionierarbeit auf dem Gebiet der CO₂ Gaswechseltechnik und B. Schroeter insbesondere in der Anwendung der Chlorophyllfluoreszenz am Standort in der Antarktis zu leisten (KAPPEN et al. 1986, KAPPEN et al. 1990b, SCHROETER et al. 1991a, SCHROETER et al. 1992). Somit konnte eine gute Datenbasis für Modelle der Photosynthese und Atmungsaktivität antarktischer Flechten erstellt werden (SCHROETER et al. 1997a).

Eine gute Meßtechnik ermöglichte uns auch, unter natürlichen Bedingungen am Standort Photosynthese und Atmung von Flechten bei Temperaturen weit unter 0°C zu messen (KAPPEN 1989, SCHROETER et al. 1994). Da CO₂ Gaswechselaktivität bis -20°C erwiesen werden konnte, ist der Kohlenstoffwechsel im Jahresgang bei Flechten auch über die Zeit jenseits der polaren Hochsommerperiode in Betracht zu ziehen. Ganz anders verhalten sich Moose, die bereits bei -6°C inaktiviert sind. Die Untersuchungen des CO₂ Gaswechsels bei Frosttemperaturen brachte auch die Erkenntnis mit sich, daß Flechten Wasserdampf aus Schnee und Eis aufnehmen können (KAPPEN et al. 1993b), was sich jüngst mit verschiedenen experimentellen Ansätzen bestätigen ließ (SCHROETER et al. 1994, SCHROETER und SCHEIDEGGER 1995). Die positive wie auch negative Rolle der Schneebedeckung untersucht z.Zt. B. Winkler, IPÖ. Aber auch bei der Untersuchung des Lichtfaktors für die Photosynthese erweist sich die Antarktis als Experimentierfeld, das im Labor schwerlich nachgestellt werden kann. Es mehren sich die Ergebnisse, daß die Kombination von tiefen Temperaturen und Starklicht, die sich für Pflanzen sonst sehr nachteilig auf den Photosyntheseapparat auswirken kann, Flechten nicht beeinträchtigt (KAPPEN et al. 1998b). Diesen Fragestellungen geht z.Zt. M. Schlenz nach.

Aktivitäten in der arktischen Region

In der arktischen Region, vor allem in Svalbard und Grönland, wurden auch von Kieler Wissenschaftlern botanische und bodenkundliche Forschungen betrieben. Untersuchungen zur Flechtenökologie wurden von unserer Kieler Arbeitsgruppe in Grönland (SCHROETER et al. 1991b), in Lappland (LÖSCH et al. 1983,

KAPPEN et al. 1995) bzw. im Vergleich mit Svalbard (SCHIPPERGES et al. 1995) durchgeführt.

Im Rahmen des BMBF-geförderten Projektes "Environmental development of central Siberia in the late Quaternary" und "System Laptev Sea 2000" zur Erforschung Nordsibiriens und der Laptev-See Region ist mit botanischen und bodenkundlichen Forschungen M. Bölker vom Institut für Polarökologie beteiligt. In der Kälte-wüste der Taimyrregion beschrieben BÖLTER und KANDA (1997) und BÖLTER und PFEIFFER (1997) die Böden und ihre organischen Komponenten. In der rezenten Vegetation sollten Phytomasse, CO₂ Gaswechsel der Pflanzen, Bodenatmung und Bodenmikroorganismen untersucht werden, um die Komponenten von Kohlenstoffflüssen in Permafrostböden aufzudecken und zu quantifizieren (s. BÖLTER 1996b).

M. Sommerkorn hat im Sommer 1997 Photosynthese, Bodenatmung und Methanabgasung im Gebiet von Zakkenberg, Nordostgrönland, gemessen und sich damit an dem dänischen Projekt "The Arctic Landscape: Interaction und Feedbacks among Physical, Geographical and Biological Processes" beteiligt. Ein Ergebnis dieser Zeitreihenuntersuchungen ist, daß CO₂ und Methanabgabe aus dem Boden quantitativ miteinander in Beziehung stehen. Die Forschungen in Ostgrönland sollen nach Möglichkeit weiter vertieft werden. Ein bipolarer Vergleich von Kohlenstoffflüssen in terrestrischen Ökosystemen wird angestrebt.

Schlußfolgerungen

Insgesamt geht es darum, zu verstehen, welche Organismen unter welchen Bedingungen in den Polarregionen existieren können. Hierbei ist richtig einzuordnen, was wir unter Anpassung an extreme Umweltbedingungen meinen. Durch relative Standortkonstanz können viele Organismen in besonderen Nischen bzw. Oasen in einem ganzen Spektrum von klimatisch ungünstigen Verhältnissen leben und sich vermehren. Besonders aufschlußreich zum Verständnis der Existenz von biologischen Systemen ist die Beobachtung der physiologischen Aktivität *in situ*. Doch lassen sich aus solchen Erkenntnissen nur gültige Schlüsse ziehen, wenn man die Beobachtung über längere Zeiträume ausdehnen kann. Es ist ja bemerkenswert, daß z.B. Flechten in manchen Gebieten auch im Polarwinter Stoffwechselaktivität zeigen können.

Über das Verständnis von Einzelorganismen hinaus geht es aber auch um die Aufklärung von Prozessen in polaren terrestrischen Ökosystemen. Damit sind einerseits die Dynamik der Veränderung der qualitativen und quantitativen

- HERTEL, H. (1988): Problems in monographing Antarctic crustose lichens. *Polarforschung* 58: 65-76
- HIRSCH, P., BURTON, H.R. (1993): Biodiversität in drei kontinental-antarktischen Seen. *Mitt. z. Kieler Polarforsch.* 8: 24-25
- HIRSCH, P., GALLIKOWSKI, C.A., FRIEDMANN, E.I. (1985): Microorganisms in soil samples from Linnaeus Terrace southern Victoria Land: Preliminary observations. *Antarct. J.U.S.* 19: 183-186
- HIRSCH, P., HOFFMANN, B., GALLIKOWSKI C.C., MEVS, U., SIEBERT, J., SITTIG, M. (1988): Diversity and identification of heterotrophs from Antarctic rocks of the McMurdo Dry Valleys (Ross Desert). *Polarforsch.* 58: 261-270
- HIRSCH, P., PEISSL, K. (1994): Zur bakteriellen Kontamination antarktischer Böden in den Vestfold Hills, Ostantarktis. *Mitt. z. Kieler Polarforschung* 9: 19-20
- HIRSCH, P., SIEBERT, J. (1991a): Die Vielfalt der Mikroorganismen im hypersalinen Ekho Lake (Vestfold Hills, Ostantarktis). *Mitt. z. Kieler Polarforsch.* 6: 11-14
- HIRSCH, P., SIEBERT, J. (1991b): Microbiology of Ekho Lake (Vestfold Hills), a hypersaline, heliothermal and meromictic lake in East Antarctica. Abstract: 16. Intern. Polartagung in Göttingen der Deutsch. Ges. f. Polarforschung
- JACOBSEN, P., KAPPEN, L. (1988): Lichens from the Admiralty Bay region, King George Island (South Shetland Islands, Antarctica). *Nova Hedwigia* 46: 503-510
- KAPPEN, L., FRIEDMANN, E.I., GARTY, J. (1981): Ecophysiology of lichens in the Dry Valleys of Southern Victoria Land, Antarctica. I. Microclimate of the cryptoendolithic lichen habitat. *Flora* 171: 216-235
- KAPPEN, L., FRIEDMANN, E.I. (1983): Ecophysiology of lichens of the Dry Valleys of Southern Victoria Land, Antarctica. II. CO₂ gas exchange in cryptoendolithic lichens. *Polar Biol.* 1: 227-232
- KAPPEN, L. (1985a): Vegetation and ecology of ice-free areas of Northern Victoria Land, Antarctica. I. The lichen vegetation of Birthday Ridge and an inland mountain. *Polar Biol.* 4: 213-225
- KAPPEN, L. (1985b): Lichen-habitats as micro-oases in the Antarctic - the role of temperature. *Polarforschung* 55: 49-54
- KAPPEN, L., BÖLTER, M., KÜHN, A. (1986): Field measurements of net photosynthesis of lichens in the Antarctic. *Polar Biol.* 5: 255-258
- KAPPEN, L. (1988): Ecophysiological relationships in different climatic regions. In: Galun M (eds) *CRC Handbook of Lichenology*, CRC Press, Boca Raton, Florida
- KAPPEN, L., STRAKA, H. (1988): Pollen and spore transport into the Antarctic. *Polar Biol.* 8: 173-180
- KAPPEN, L., (1989): Field measurements of carbon dioxide exchange of the Antarctic lichen *Usnea sphacelata* in the frozen state. *Antarctic Science* 1 (1): 31-34
- KAPPEN, L., MEYER, M., BÖLTER, M. (1990a): 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* 184: 209-220
- KAPPEN, L., SCHROETER, B., SANCHO, L.G. (1990b): Carbon dioxide exchange of Antarctic crustose lichens in situ measured with a CO₂/H₂O porometer. *Oecologia* 82: 311-316
- KAPPEN, L. (1993a): Lichens in the Antarctic region. In: Friedmann, E.I. (ed) *Antarctic Microbiology*. Wiley-Liss, Inc., 433-490
- KAPPEN, L. (1993b): Plant activity under snow and ice, with particular reference to lichens. *Arctic* 46: 297-302
- KAPPEN, L., SOMMERKORN, M., SCHROETER, B. (1995): Carbon Acquisition and water relations of lichens in polar regions - potentials and limitations. *Lichenologist* 27 (6): 531-545
- KAPPEN, L., SCHROETER, B. (1997): Activity of lichens under the influence of snow and ice. *Proc. NIPR Symp. Polar Biol.* 10: 163-168
- KAPPEN, L., SCHROETER, B., GREEN, T.G.A., SEPPELT, R.D. (1998a): Microclimatic conditions, melt water moistening, and the distributional pattern of *Buellia frigida* on rock in a southern continental Antarctic habitat. *Polar Biol.* 19: 101-106
- KAPPEN, L., SCHROETER, B., GREEN, T.G.A., SEPPELT, R.D. (1998b): Chlorophyll a fluorescence and CO₂ exchange of *Umbilicaria aprina* under extreme light stress in the cold. *Oecologia* 113, 325-331
- LANGE, O.L., KAPPEN, L. (1972): Photosynthesis of lichens from Antarctica. In: Llano, G.

Zusammensetzung von Vegetation und Böden, andererseits aber auch die integralen Stoffflüsse aus diesen Systemen und in die Atmosphäre gemeint. Solche Untersuchungen, die letztlich auch globale Relevanz haben, können nur vor Ort, weniger im Labor und keinesfalls nur im

Labor, vorgenommen werden. Wir werden daher weiterhin auf Mitarbeiter und Kollegen setzen, die bereit und in der Lage sind, diese wichtige Feldforschung in den Polargebieten zu betreiben.

Literatur

- BEYER, L., BLUME, H.P., SORGE, C., SCHULTEN, H.R., ERLLENKEUSER, H., SCHNEIDER, D. (1997): Humus composition and transformation in a pergelic cryohemist of coastal Antarctica. *Arctic and Alpine Res.* 29: 358-365
- BLUME, H.-P., BÖLTER, M. (1996): Wechselwirkungen zwischen Boden- und Vegetationsentwicklung in der Kontinentalen Antarktis. *Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie* 25: 25-34
- BLUME, H.-P., SCHNEIDER, D., BÖLTER, M. (1996): Organic matter accumulation in and podzolisation of Antarctic soils. *Z. Pflanzenernähr. Bodenkd.* 159: 411-412
- BLUME, H.-P., BEYER, L., BÖLTER, M., ERLLENKEUSER, K., KALK, E., KNEESCH, S., PFISTERER, U., SCHNEIDER, D. (1997): Pedogenic zonation in soils of the southern circumpolar region. *Adv. Geocol.* 30: 69-90
- BOCKHEIM, J., BÖLTER, M., CAMPBELL, I.B. (1993): Design of an experiment to detect the effects of global change on soil development in the southern circumpolar region. *Russian Academy of Science*: 146-164
- 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): Effects of carbohydrates and leucine on growth of bacteria from Antarctic soils (Casey Station, Wilkes Land). *Polar Biol.* 13: 297-306
- BÖLTER, M., BLUME, H.-P., ERLLENKREUSER, H. (1994): Pedologic, isotopic and microbiological properties of Antarctic Soils. *Polarforschung* 64: 1-7
- BÖLTER, M. (1995): Distribution of bacterial numbers and biomass in soils and on plants from King George Island (Arctowski Station, Maritime Antarctica). *Polar Biology* 15: 115-124
- BÖLTER, M., BLUME, H.-P., KAPPEN, L. (1995): Bodenbiologische Untersuchungen in der maritimen und kontinentalen Antarktis (King George Island and Windmill Islands). Teil 1. Umweltparameter und anorganische Nährstoffe. *Polarforsch.* 65: 41-61
- BÖLTER, M. (1996a): Analysis of soil microbial communities (autotrophs and heterotrophs) from King George Island (Arctowski Station). *Proceedings of the NIPR Symposium on Polar Biology* 9: 283-298
- BÖLTER, M. (1996 b): Soil microbiology. Russian-German cooperation: The expedition TAIMYR 1995. *Ber. Polarforsch.* 211: 72-79
- BÖLTER, M. (1997): Microbial communities in soils and on plants from King George Island (Arctowski Station, Maritime Antarctica). In: Battaglia, B., Valencia, J., Walton, D.W.H. (eds) *Antarctic communities: species, structure and survival*, Cambridge University Press, Cambridge, New York, Melbourne, 162-169
- BÖLTER, M., BLUME, H.-P., SCHNEIDER, D., BEYER L. (1997): Soil properties and distributions of invertebrates and bacteria from King George Island (Arctowski Station), maritime Antarctic. *Polar Biol.* 18: 295-304
- BÖLTER, M., KANDA, H. (1997): Preliminary results of botanical and microbiological investigations in Severnaya Zemlya 1995. *Proc. NIPR Symp. Polar. Biol.* 10: 169-178
- BÖLTER, M. & PFEIFFER, E.M. (1997): Bacterial biomass and properties of arctic desert soils (Archipelago Severnaya Zemlya, Northern Siberia). In: Iskandar, I.K., Wright, E.A., Radke, I.K., Skarrett, B.S., Groenevelt, P.H., Hinzman, L.D. (eds). *Proc. Inter. Sympos. on Physics, Chemistry and Ecology of seasonally frozen Soils*, Fairbanks, Alaska., CRREL Spec. Rep. 97-10, Hanover
- DAWID, W., GALLIKOWSKI, B., HIRSCH, P. (1988): Psychrophilic myxobacteria from Antarctic Soils. *Polarforschung* 58: 271-278
- GLIESCHE, C., JENDRACH, M., PEISSL, K., SIEBERT, J., HIRSCH, P. (1996): Characterization and transformation of plasmid pAA-1 found in an antarctic cryptoendolithic bacterium. *Canadian Journal of Microbiology* 42: 571-567

- (ed.) Antarctic Terrestrial Biology. Antarctic Research Series 20: 83-95. Washington DC
- LÖSCH, R., KAPPEN, L., WOLF, A. (1983): Productivity and temperature biology of two snowbed bryophytes. *Polar Biol.* 1: 243-248
- MELICK, D.R., BÖLTER, M., MÖLLER, R. (1994): Rates of soluble carbohydrate utilization in soils from the Windmill Islands Oasis, Wilkes Land, continental Antarctica. *Polar Biol.* 14: 59-64
- PEISSL, K., HIRSCH, P., BURTON, H.R. (1995): Untersuchungen zur Ökologie von Bodenorganismen in den Vestfold Hills (Ostantarktis). *Mitt. z. Kieler Polarforschung* 11: 17
- SANCHO, L.G., KAPPEN, L., SCHROETER, B. (1990): Primeros datos sobre la flora y vegetación liquenica de Isla Livingston (Islas Shetland del Sur, Antártida). *Actas del Tercer Simposium Espanol de Estudios Antárticos. Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología, Madrid: pp 94-99*
- SANCHO, L.G., SCHROETER, B., VALLADARES, F. (1997): *Umbilicaria kappeni* a new lichen species from Antarctica with multiple mechanisms for the simultaneous dispersal of both symbionts. *Nova Hedwigia*, submitted
- SCHIPPERGERS, B., KAPPEN, L., SONESSON, M. (1995): Intraspecific variations of morphology and physiology of temperate to arctic populations of *Cetraria nivalis*. *Lichenologist* 27: 517-529
- SCHROETER, B., KAPPEN, L., MOLDAENKE, C. (1991a): Continuous *in situ* recording of the photosynthetic activity of Antarctic lichens - established methods and a new approach. *Lichenologist* 23: 253-265
- SCHROETER, B., JACOBSEN, P., KAPPEN, L. (1991): Thallus moisture and microclimatic control of CO₂ exchange of *Peltigera aphthosa* (L.) Willd. on Disko Island (West Greenland). *Symbiosis* 11: 131-146
- SCHROETER, B., GREEN, T.G.A., SEPPELT, R.D., KAPPEN, L. (1992): Monitoring photosynthetic activity of crustose lichens using a PAM-2000 fluorescence system. *Oecologia* 92: 457-462
- SCHROETER, B., GREEN, T.G.A., KAPPEN, L., SEPPELT, R.D. (1994): Carbon dioxide exchange at subzero temperatures. Field measurements on *Umbilicaria aprina* in Antarctica. *Crypt. Bot.* 4: 233-241
- SCHROETER, B., SCHEIDEGGER, C. (1995): Water relations in lichens at subzero temperatures: Structural changes and carbon dioxide exchange in the lichen *Umbilicaria aprina* from continental Antarctica. *New Phytologist* 131: 273-285
- SCHROETER, B., OLECH, M., KAPPEN, L., HEITLAND, W. (1995): Ecophysiological Investigations of *Usnea antarctica* in the maritime Antarctic. I. Annual microclimatic conditions and potential primary production. *Antarctic Science* 7 (3): 251-260
- SCHROETER, B., SCHULZ, F., KAPPEN, L. (1997a): Hydration-related spatial and temporal variation of photosynthetic activity in Antarctic lichens. In: Battaglia B, Valencia J, Walton DWW (eds) *Antarctic communities: species, strategy and survival*. Cambridge University Press, Cambridge: 221-225
- SCHROETER, B., KAPPEN, L., GREEN, T.G.A., SEPPELT, R.D. (1997b): Lichens and the Antarctic environment: Effects of temperature and water availability on photosynthesis. In: Howard-Williams, C. (ed.) *Ecosystem Processes in Antarctic Ice-free Landscapes*. Balkema, Rotterdam: 103-117
- SCHUMANN, P., PRAUSER, H., RAINEY, F.A., STACHEBRANDT, E., HIRSCH, P. (1997): *Friedmanniella antarctica* gen. nov., sp. nov., an LL-diaminopimelic acid containing actinomycete from Antarctic sandstone. *International Journal of Systematic Bacteriology* 47(2): 278-283
- SIEBERT, J., HIRSCH, P. (1988): Characterization of 15 selected coccal bacteria isolated from Antarctic rock and soil samples from McMurdo Dry Valley (South Victoria Land). *Polar Biol.* 9: 37-44
- SIEBERT, J., PALMER, JR., R.J., HIRSCH, P. (1991): Analysis of free amino acids in microbially colonized sandstones by precolumn phenyl isothiocyanate derivatization and high performance liquid chromatography. *Applied and Environmental Microbiology* 57(3): 879-881
- SIEBERT, J., HIRSCH, P., HOFFMANN, B., GLIESCHE, C.G., PEISSL, K., JENDRACH, M. (1996): Cryptoendolithic microorganisms from Antarctic sandstone of Linnaeus Terrace (Asgard Range): Diversity, properties and interactions. *Biodiversity and Conservation* 5: 1337-1363