

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

Terrestrische Ökosysteme in der Antarktis

Terrestrische Ökosysteme in der Antarktis sind meist klein und einfach aufgebaut. Dies erleichtert das Vorhaben, sie einmal quantitativ zu erfassen und funktional zu beschreiben. Klein muß nicht immer eine räumliche Begrenzung bedeuten, denn die Vegetation bedeckt auf dem Kontinent stellenweise und in der maritimen Antarktis (Bereich der antarktischen Halbinsel nördlich 68° S und der Inseln) häufiger größere Flächen. Auch Tierkolonien, von denen ich hier nicht sprechen will, können eine erhebliche Ausdehnung haben, bestehen aber auch nur aus einer oder wenigen Arten.

Die Analyse von Ökosystemen muß auf verschiedenen Ebenen geschehen; Einzelschritte hierbei sind: die Erfassung der geographischen Parameter (wie Lage, Ausdehnung, Exposition, Boden, Substrat), die Messung der klimatischen und mikroklimatischen Situation im räumlich zeitlichen Gefüge, die Erfassung der organismischen Zusammensetzung (taxonomisch und biometrisch), die Untersuchung der organismischen Interaktion, die Physiologische Leistung der Organismen (Energieeintrag, Stoffproduktion, Nährstoffumsatz), Teilmodelle von den Funktionen einzelner Glieder des Systems und schließlich Gesamtmodelle.

So extreme Gebiete der kontinentalen Antarktis wie die sogenannten Dry Valleys des transantarktischen Gebirges hielt man gewöhnlich für abiotisch, bis auch in den scheinbar sterilen Gebirgszonen Algen und Pilze im Porenraum des Beacon-Sandsteins entdeckt wurden (Friedmann 1977). Später wurden auch Flechten identifiziert (Friedmann, Garty, Kappen 1980). An der Mikroorganismen-Zusammensetzung arbeitet z.Zt. Herr Kollege Hirsch vom Institut für Allgemeine Mikrobiologie. Ich wurde in diese Forschungen einbezogen, als es um die Untersuchung der kleinklimatischen Situation dieses endolithischen Ökosystems ging. Wir führten erstmals kontinuier-

liche Messungen durch. Es wurde herausgefunden, daß dieses System expositionsabhängig ist, die Temperaturen bis zu 13 Stunden des Tages über dem Gefrierpunkt liegen und nahezu bis 10° C ansteigen und daß schmelzender Schnee die lebensnotwendige Feuchtigkeitsquelle bildet. Die Ausrüstung bestand zunächst aus einem 12 Kanal-Punktschreiber zur Registrierung der Thermoelementspannung, von Lichtmessungen mit Siliciumzellen und von kapazitiven Feuchtigkeitsmessungen inner- und außerhalb des Gesteins. Dazu kamen stündliche Wetterbeobachtungen am Standort (Kappen, Friedmann, Garty 1981).

Ähnliche Untersuchungen über kurze Abschnitte des Südsommers auf dem Kontinent und in der maritimen Antarktis führten zu einer ersten groben Vorstellung von den Umweltparametern der biologischen Aktivität. Es verdichtete sich der Eindruck, daß pflanzliche Organismen, die potentiell alle eisfreien Gebiete der Antarktis lückenlos besiedeln könnten, nur dort existieren, wo eine bestimmte Kombination von Kleinklimafaktoren auftritt. Das Kleinklima ist also der begrenzende Faktor. Es schafft eine Oasensituation in der Kältewüste (Kappen 1985a). Genau wie in der heißen Wüste das Vorkommen von Wasser Oasen entstehen läßt, ist es in der Antarktis die Verfügbarkeit von Wasser zufolge von Schneeakkumulation und Strahlungswärme. Bei einem Vergleich der Tagesgänge von 3 verschiedenen antarktischen Standorten (Abb. 1), zeigt sich, daß die Höchsttemperaturen überall im gleichen Bereich liegen. Nach unseren bisherigen Befunden werden die Flechten unter feuchten Witterungsbedingungen bzw. im feuchten Gestein der Dry Valleys nicht wärmer als $+7^{\circ}$ - $+10^{\circ}$ C. - Die gelegentlich zitierte starke Erwärmung von Oberflächen in der Antarktis (bis zu 32° C) betrifft nur trockene Systeme und hat daher keine biologische Bedeutung.

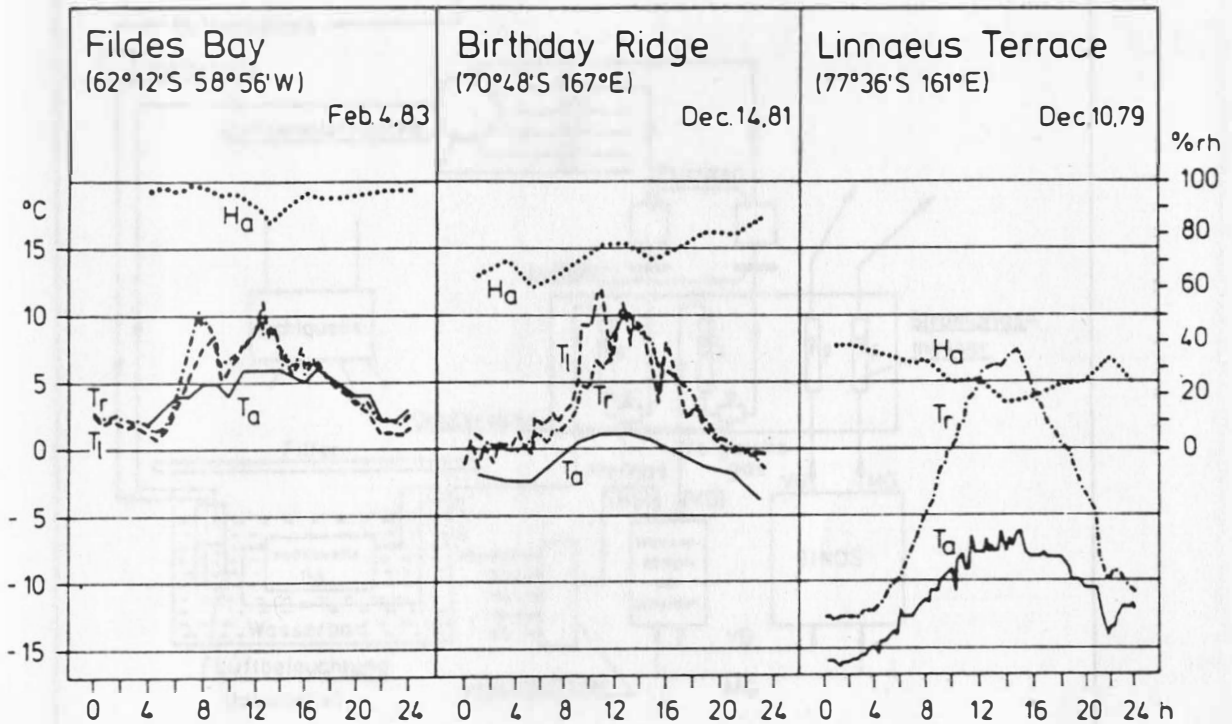


Abb. 1: Tagesgänge der Lufttemperatur (T_a), der Temperatur der Gesteinspartie, auf der oder in der die Flechte sitzt (T_r), der Temperatur des Flechtenthallus (T_l) und der relativen Feuchtigkeit der Luft (H_a). Vergleich von einem Standort auf King George Island (Fildes Bay), maritime Antarktis, mit einem Standort an der Küste der Ostantarktis (Birthday Ridge) und einem Felsen mit endolithischen Flechten von Linnaeus Terrace in den Dry Valleys (aus Kappen 1985a).

Eine andere Ebene ist die Erforschung der physiologischen Leistungen der Organismen und die Frage nach deren Anpassung. Zur Lösung dieser Frage waren wir lange Zeit nur auf Laboruntersuchungen in Kiel angewiesen. Der photosynthetische und respiratorische CO_2 -Gaswechsel der Pflanze, hier der Flechten, wurde an eingefroren nach Kiel transportiertem Material gemessen. Mittels eines Infrarot CO_2 -Analysators wird im offenen Luftstrom die Differenz zwischen einer durch die Aktivität der Pflanze bedingten CO_2 -Konzentration und der unbeeinflussten Luft gemessen (Differenzanalyse, Abb. 2).

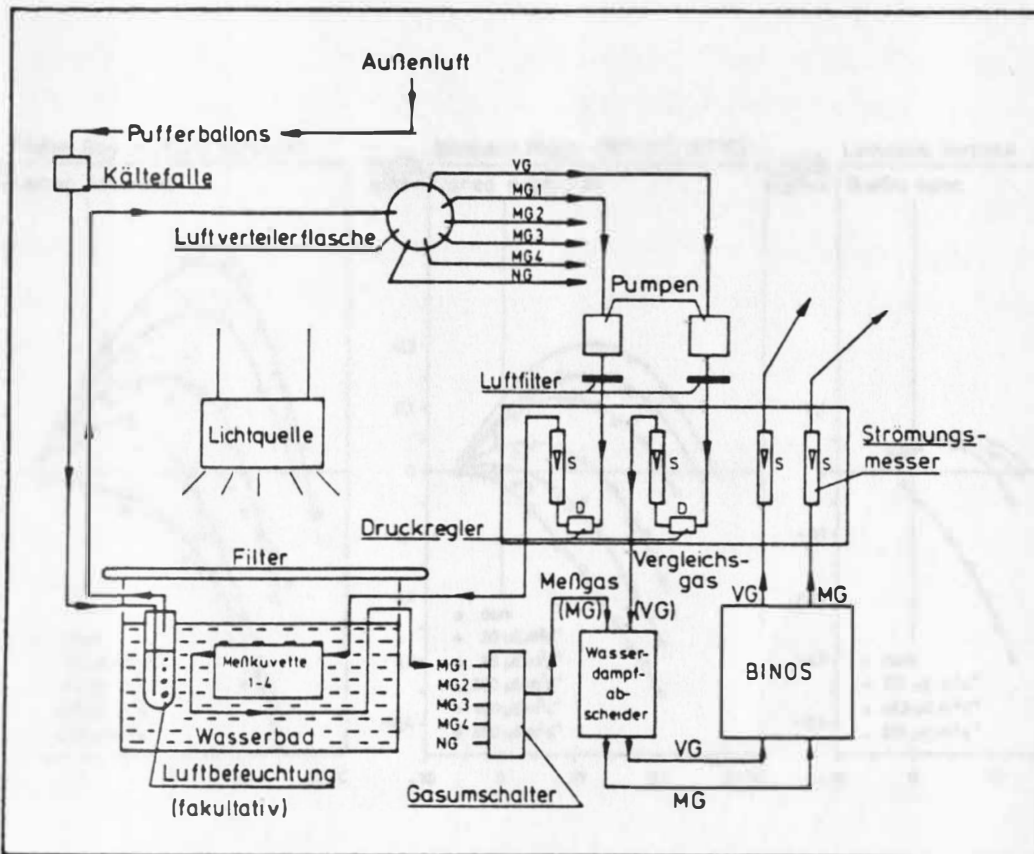


Abb. 2: Vereinfachtes Schema von der Laboranlage zur Messung des CO_2 -Gaswechsels von Flechten. Prinzip der Messung besteht in einem Vergleich der durch die (die Pflanze enthaltende) Meßküvette geleiteten Luft (= MG; Abgabe oder Aufnahme von CO_2) mit der Außenluft (VG). Infrarot- CO_2 -Analyse im "Binös".

Technischer Aufwand ergibt sich für die Konstanzhaltung des Luftstromes und die Temperierung der Meßküvetten, in denen die Pflanzen sich befinden.

Das Ergebnis unterrichtet über die Temperatur- und Lichtstärkenabhängigkeit der Nettophotosynthese und Dunkelatmung, welche zentrale Parameter des Kohlenstoffhaushaltes und des Wachstums sind. Hier wieder drei Beispiele von verschiedenen Gebieten aus der Antarktis (Kappen 1983). Man erkennt die Unterschiede in der Photosyntheserate, in der Steilheit der Atmungskurven und in der Beschränkung der positiven Bilanz auf bestimmte Temperaturbereiche (Abb. 3).

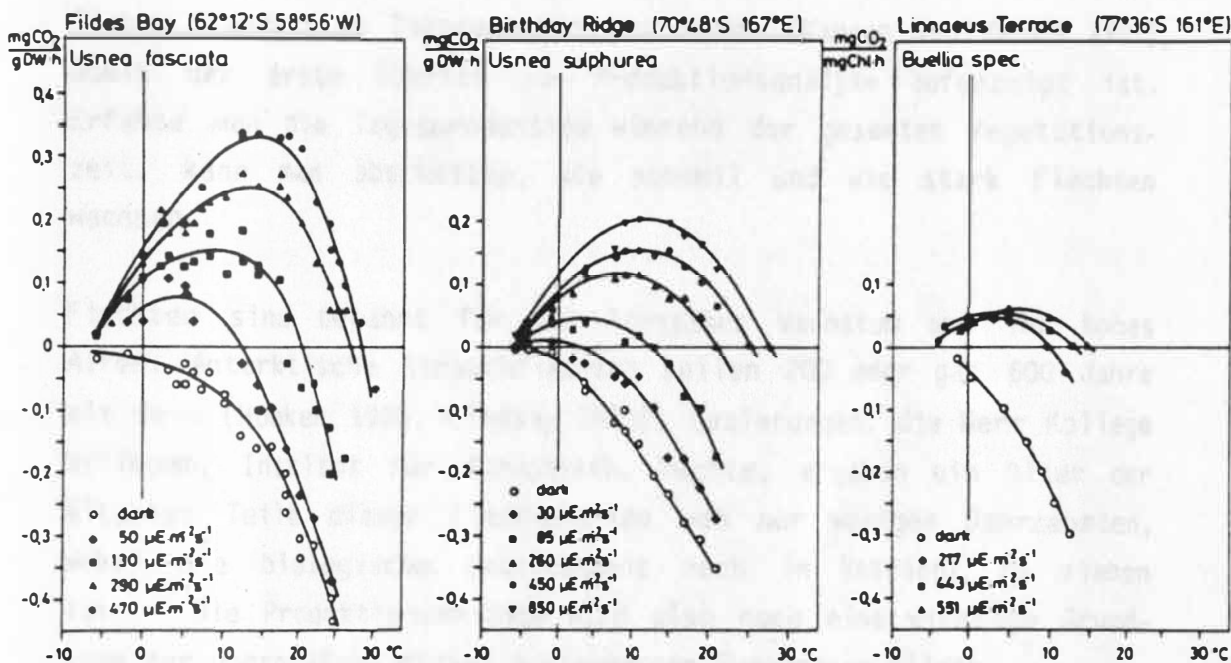


Abb. 3: Photosynthese (dunkle Signaturen) und Dunkelatmung (offene Signaturen) bei verschiedenen Temperaturen (Abszisse) und Lichtintensitäten in Mikroeinstein pro Quadratmeter und Sekunde von typischen Flechtenarten der bereits in Abb. 1 beschriebenen Standorte der Antarktis (aus Kappen 1985a).

Wir erhalten nun Aufschluß darüber, wie weit die photosynthetische Aktivität an die jeweiligen Standortsverhältnisse angepaßt ist. Es fragt sich weiterhin, ob unter natürlichen Bedingungen die Optimaltemperatur erreicht ist? Ohne dies jetzt näher zu erörtern, ist zu berichten, daß die Flechten auch unter günstigen Standortbedingungen das Optimum um mindestens 1 - 2 Grad K "verfehlten". Es ist diesen Pflanzen also nach unseren bisherigen Messungen stets zu kalt (Kappen, 1985a).

Aufgrund der Kenntnis der Temperatur- und Lichtabhängigkeit des CO_2 -Gaswechsels konnten wir ausrechnen, was eine Flechte unter den hier gegebenen Licht- und Temperaturverhältnissen am natürlichen Standort im Tagesgang leisten würde (Kappen und Redon 1987), womit der erste Schritt zur Produktionsanalyse aufgezeigt ist. Erfasste man die Tagesproduktion während der gesamten Vegetationszeit, kann man abschätzen, wie schnell und wie stark Flechten wachsen.

Flechten sind bekannt für ihr langsames Wachstum und ihr hohes Alter. Antarktische Strauchflechten sollen 200 oder gar 600 Jahre alt sein (Hooker 1980, Lindsay 1973). Datierungen, die Herr Kollege Willkomm, Institut für Kernphysik, machte, ergaben ein Alter der ältesten Teile dieser Flechtenarten von nur wenigen Jahrzehnten, wobei die biologische Umtriebszeit noch in Betracht zu ziehen ist. - Die Produktionsanalyse wird also noch eine wichtige Grundlage zur Überprüfung dieser kontroversen Ergebnisse bilden.

Von größter Bedeutung ist, daß die Produktionsanalyse am Standort durchgeführt werden kann, um in situ die Laborergebnisse zu überprüfen und die natürlichen Reaktionen des Stoffwechsels zu erfassen.

Dies konnte technisch erst vor kurzem gelöst werden. Mit Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft wurde eine im antarktischen Gelände installierbare CO_2 -Gaswechselanalysenapparatur (Walz, Effeltrich) mit 2 Pflanzenkammern hergestellt (Kappen, Bölter, Kühn 1986a). Besonders wichtig ist die peltiertechnische Temperierung der Pflanzenkammern. Man kann darin die Umgebungstemperatur simulieren sowie bestimmte Sollwerte fahren. Die Einrichtung hat inzwischen zwei Expeditionen überstanden und war letztes Mal in der Nähe der australischen Antarktis-Station Casey in vollem Betrieb Blizzards mit Windgeschwindigkeiten bis 85 Knoten ausgesetzt, ohne zu versagen.

Wir konnten mit dieser Anlage z. B. untersuchen, wie Flechten unter Schneebedeckung Photosynthese treiben (Kappen, Bölter, Kühn

1986b). Noch bei -10° C nahmen mit Schneekristallen bedeckte Flechten CO_2 auf, was frühere Laborbefunde bei anderen Arten (Lange 1965) bestätigt.

Tagesgänge des CO_2 -Gaswechsels unter Berücksichtigung der bestimmenden Parameter sind für die Überprüfung der Hochrechnung der Stoffproduktion über längere Zeiträume unentbehrlich.

Zur Untersuchung der Abhängigkeit der Photosynthese vom Wassergehalt bietet die oben genannte Anlage nur begrenzte Möglichkeiten. Man kann aber ein intermittierendes Meßverfahren anwenden, um den Einfluß des Wassergehaltes auf die Photosynthese zu erkennen. Das hierfür benutzte sogenannte Porometer enthält ein Gasanalysengerät, das CO_2 -Differenz sowie Wasserdampfaustausch der Flechten messen kann (Lange et al. 1985). Die Meßküvette ist sehr klein, aber nicht temperierbar. Man kann daher ohne Strahlungsfehler nur minutenlange Messungen machen. Die Temperaturen werden registriert, so daß der Gaswechsel darauf bezogen werden kann. Vor und nach jeder Gaswechselfmessung wird die Flechtenprobe an einer Waage gewogen, so daß man den jeweiligen Wassergehalt pro Trockengewicht am Ende der Versuchsreihe ermitteln kann. Man beginnt mit einer schneefeuchten oder regennassen Probe und mißt, bis die Probe lufttrocken ist.

Viele Flechten reagieren auf starke Wassersättigung mit einer Erniedrigung der Photosyntheserate. Erst nach leichtem Wasserverlust ist die Rate maximal. Es gibt also ein Feuchteoptimum der Nettophotosynthese. Übersättigung wird selten ein Problem auf dem antarktischen Kontinent sein, wo im Sommer leichte Schneefälle bei starker Strahlung nur zu einer allmählichen und oft nicht starken Befeuchtung führen, wohl aber in der maritimen Antarktis, wo Naßschnee und Regen die Thalli stark imbibieren (Kappen 1985b).

Am Beispiel von *Umbilicaria aprina* wird das Übersättigungsphänomen der maritim antarktischen Flechten deutlich. Man kann die Übersättigung auch gut an der starken Aufwölbung des Thallus erkennen (Abb. 4).

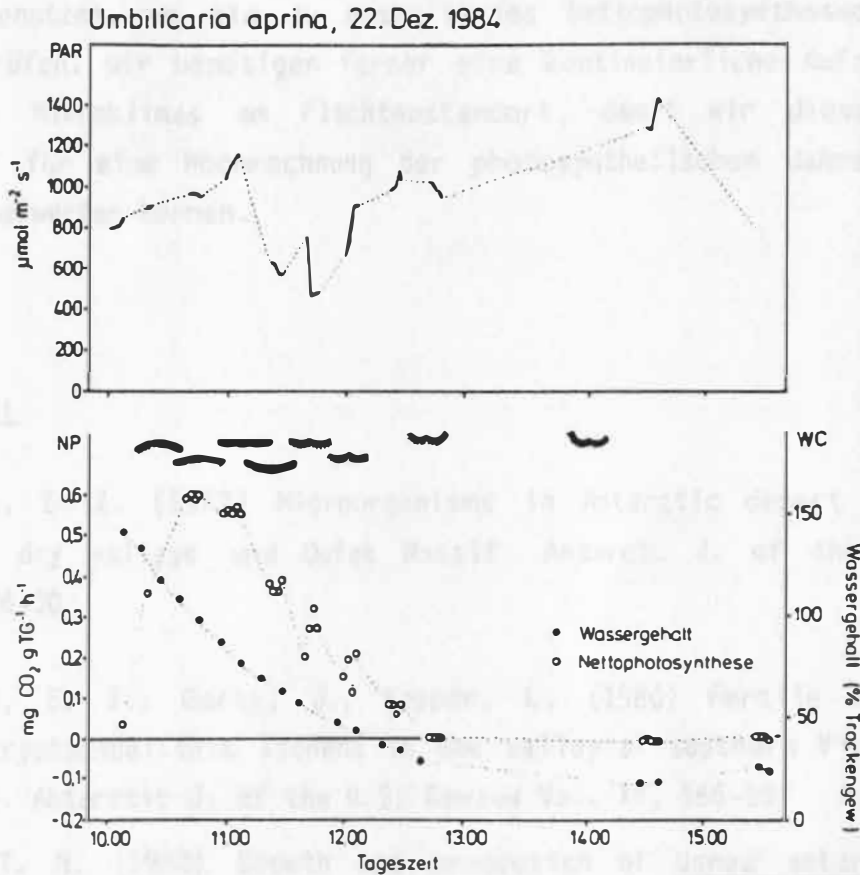


Abb. 4: Wassergehalt (Punkte) und Nettophotosynthese (Kreise) einer Nabelflechte auf King George Island, gemessen mit dem CO_2 -Porometer. Im oberen Teil des Bildes sind die Lichtverhältnisse registriert. Der Flechtenthallus ist im Schattenriß dargestellt. Er ist im gesättigten Zustand in der Mitte aufgewölbt und krümmt sich mit zunehmendem Wasserverlust an den Rändern allmählich auf. Die Photosynthese ist bei maximalem Wassergehalt stark reduziert.

Zur Zeit sind wir im Besitz einiger Photosynthesekurven aus dem Labor, einer Reihe von Tagesgängen des CO_2 -Gaswechsels und des Kleinklimas, die während der Antarktisaufenthalte aufgenommen wurden. Diese Daten reichen gerade aus, um einige Standorte zu charakterisieren und die physiologischen Leistungen der untersuchten Flechtenarten zu beschreiben und das Verhalten einiger Arten an bestimmten Tagen unter natürlichen Standortsbedingungen zu charakterisieren. Sie reichen aber noch nicht aus, um Aussagen über die Jahresproduktion zu machen. Hierfür benötigen wir erstens

noch mehr Tagesgänge der Nettophotosynthese, die wir als feste Punkte benutzen, um ein zu erstellendes Nettophotosynthesemodell zu überprüfen. Wir benötigen ferner eine kontinuierliche Aufzeichnung des Mikroklimas am Flechtenstandort, damit wir diese als Parameter für eine Hochrechnung der photosynthetischen Jahresproduktion verwerten können.

Literatur:

- FRIEDMANN, E. I. (1977) Microorganisms in Antarctic desert rocks from dry valleys and Dufek Massif. *Antarct. J. of the U.S.* 12, 26-30
- FRIEDMANN, E. I., Garty, J., Kappen, L. (1980) Fertile stages of cryptoendolithic lichens in the valley of southern Victoria Land. *Antarctic J. of the U.S. Review Vol. XV*, 166-167
- HOOKE, T. N. (1980) Growth and production of Usnea antarctica and U. fasciata on Signy Island, South Orkney Islands. *Br. Antarct. Surv. Bull.* 50, 35-49
- KAPPEN, L. (1983) Anpassungen von Pflanzen an kalte Extremstandorte. *Ber. Dt. Botan. Ges.* 96, 87-101
- KAPPEN, L. (1985a) Lichen-habitats as micro-oases in the Antarctic - The role of temperature. *Polarforschung* 55, 49-54
- KAPPEN, L. (1985b) Water relations and net photosynthesis of Usnea. A comparison between Usnea fasciata (maritime Antarctic) and U. sulphurea (continental Antarctic). 41-56. In: D. H. Brown: *Lichen Physiology and Cell Biology*. Plenum Press, New York
- KAPPEN, L., BÖLTER, M., KÜHN, A. (1986a) Field measurements of net photosynthesis of lichens in the Antarctic. *Polar Biology* 5, 255-258

KAPPEN, L., BÖLTER, M., KÜHN, A. (1986b) Photosynthetic activity of lichens at natural habitats in the maritime Antarctic. *Bibliotheca Lichenologica*; im Druck

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., REDON, J. (1987) Photosynthetic activity of lichens at natural habitats in the maritime Antarctic. *Flora* (Jena) im Druck

LANGE, O. L. (1962) Die Photosynthese der Flechten bei tiefen Temperaturen und nach Frostperioden. *Ber. Deutsch. Bot. Ges.* 75, 351-352

LANGE, O. L., KILIAN, E., MEYER, A., TENHUNEN, J. D. (1984) Measurement of lichen photosynthesis in the field with a portable steady-state CO₂-porometer. *Lichenologist* 16, 1-9

LINDSAY, D. C. (1973) Estimates of lichen growth rates in the maritime Antarctic. *Arctic and Alpine Research* 5, 341-346