

Burkhard Schroeter und Mark Schlenso, Botanisches Institut der Universität Kiel

Über die Auswirkungen von Starklicht auf die Photosynthese von Flechten und Moosen in der Antarktis

Flechten und Moose sind als Pionierpflanzen extremer Lebensräume bekannt und dominieren in den Polargebieten die Vegetation (LONGTON 1988; KAPPEN 1993; GREEN et al. 1999). Um unter den extremen Lebensbedingungen in den terrestrischen Ökosystemen der Antarktis erfolgreich überleben zu können, müssen Moose und in besonderem Maße auch Flechten, die in der Antarktis eisfreie Gebiete wie Nunatakter bis 86°09'S besiedeln können (WISE & GRESSITT 1965), an die vorherrschenden Lebensbedingungen angepaßt sein. So sind Flechten einerseits in der Lage, "ungünstige" Temperaturbedingungen zu überdauern, sie können extreme Temperaturen bis zu -196°C auch in hydratisiertem Zustand ertragen (KAPPEN & LANGE 1972), den Aufenthalt bei -20°C über Zeiträume von mehreren Monaten bis hin zu 10 Jahren ohne erkennbaren Vitalitätsverlust überleben (LARSON 1989) sowie noch bei Minustemperaturen bis unter -17°C Photosynthese betreiben (SCHROETER et al. 1994). Andererseits sind sowohl antarktische Flechten als auch Moose in der Lage, ihren Photosyntheseapparat an saisonal wechselnde Umweltbedingungen wie Einstrahlung oder Temperatur zu akklimatisieren, so daß "günstige" Umweltbedingungen möglichst optimal für Stoffgewinn und Wachstum ausgenutzt werden können. Nahezu alle antarktischen Flechten und Moose zeichnen sich zudem durch eine poikilohydre Lebensweise aus. Sie sind in der Lage, fast vollständig auszutrocknen und ohne Schädigung in einen reversiblen metabolisch inaktiven Zustand überzugehen. Erst diese Lebensweise ermöglicht Flechten und Moosen die Ansiedlung und das Überleben selbst an extrem trockenen Standorten in der Antarktis.

Neben einer für pflanzliches Leben extremen Einwirkung von Kälte und Trockenheit sind Flechten und Moose in den terrestrischen Lebensräumen der Antarktis vor allem während der Frühjahrs- und Sommermonate einer sehr starken Einstrahlung mit einem hohen UV-Anteil ausgesetzt. Während Moose und Flechten im inaktiven, trockenen Zustand extrem resistent gegen

starke Strahlung sind, zeigen eine Reihe von Untersuchungen, daß hydratisierte Flechten unter Laborbedingungen empfindlich auf die Einwirkung von Starklicht reagieren (z.B. COXSON 1987; DEMMIG-ADAMS et al. 1990; MANRIQUE et al. 1993). Außer zu reversiblen Effekten kann es hierbei auch zu einer irreversiblen Schädigung der Photosysteme kommen, die ein Absterben des Organismus zur Folge hat. Auch an antarktischen Moosen konnte in mehreren Laborarbeiten eine schädigende Wirkung von Starklicht und UV-B auf die Photosysteme nachgewiesen werden (ADAMSON et al. 1988, 1989).

Bis vor wenigen Jahren fehlten jedoch Freilanduntersuchungen, die die Einwirkung von Starklicht auf die Photosynthese von Flechten und Moosen unter den standörtlichen Gegebenheiten beschreiben. In jüngster Zeit konnten Kappen, Schroeter und Green in einer Freilandstudie in der kontinentalen Antarktis aufzeigen, daß die Flechte *Umbilicaria aprina* auch dann keine Anzeichen von Lichtstreß aufweist, wenn sie nach mehrmonatiger Dunkelheit am Ende des Winters extremen, natürlichen Starklichtverhältnissen ausgesetzt ist (KAPPEN et al. 1998). In der maritimen Antarktis sind insbesondere jene Flechten und Moose für längere Zeiträume Starklichtbedingungen ausgesetzt, die wie die Cyanobakterienflechte *Leptogium puberulum* durch Schmelzwasserrinnensale aktiviert werden und sich damit der Wirkung des Starklichtes nicht durch Austrocknung entziehen können. Auch *L. puberulum* zeigte jedoch nach mehrstündiger Behandlung mit Strahlungsintensitäten um $1600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ bei 3°C keinerlei Photoinhibition der Photosynthese (SCHLENSOG et al. 1997). Ausgehend von diesen Befunden stellt sich die Frage, inwieweit unter den natürlichen Bedingungen am Standort in der Antarktis tatsächlich Streßeffekte durch Starklicht auftreten können.

Im Rahmen eines DFG geförderten Projektes zum Thema "Pflanzliche Anpassungen an extreme Umweltbedingungen" bot sich uns im Januar und Februar 1998 die

Gelegenheit, auf Einladung von Dr. R.I. Lewis Smith, British Antarctic Survey, Cambridge, bei einer gemeinsamen Expedition zur britischen Station Rothera an der antarktischen Halbinsel ($67^{\circ}36'S$) der Frage nach dem Einfluß von Starklicht und UV-B Strahlung auf die Photosynthese von Flechten und Moosen in der Antarktis zu untersuchen (siehe auch SMITH 1996). Unsere ausgedehnte Freilandmeßkampagne fand dabei auf der benachbarten Insel Leonie Island in einem Feldlager zusammen mit britischen und holländischen Kollegen im Rahmen des multinationalen Programms "Biotic Responses to UV-B radiation in Antarctica (BRUVA)" statt. BRUVA untersucht die Reaktionen von Höheren Pflanzen, Flechten, Moosen und Algen in der Antarktis auf die Einwirkung von UV-B von der molekularen Ebene über den Einzelorganismus bis hin zum Ökosystem und den möglichen Auswirkungen auf die Biodiversität.

Insgesamt konnten wir im Januar und Februar 1998 die physiologische Aktivität von 17 Moos- und Flechtenarten sowie der beiden Höheren Pflanzen *Colobanthus quitensis* und *Deschampsia antarctica* in Abhängigkeit von den natürlichen mikroklimatischen Parametern Licht, Temperatur und Wasserverfügbarkeit erfassen.

In einem arbeitsintensiven Experiment wurden dabei alle zwei bis drei Stunden über einen Zeitraum von mehr als vier Wochen manuelle Chlorophyllfluoreszenzmesungen an 25 Individuen durchgeführt. Dabei wurden sowohl die apparente relative Elektronentransportwirksamkeit von PSII, $\Delta F/F_m'$, als auch nach Dunkeladaptation die maximale relative Elektronentransportwirksamkeit von PSII, F_v/F_m , erfasst (Abb. 1; 2). Parallel dazu registrierten Datalogger automatisch die mikroklimatischen Parameter Licht, Thallustemperatur und Luftfeuchte an den untersuchten Proben.

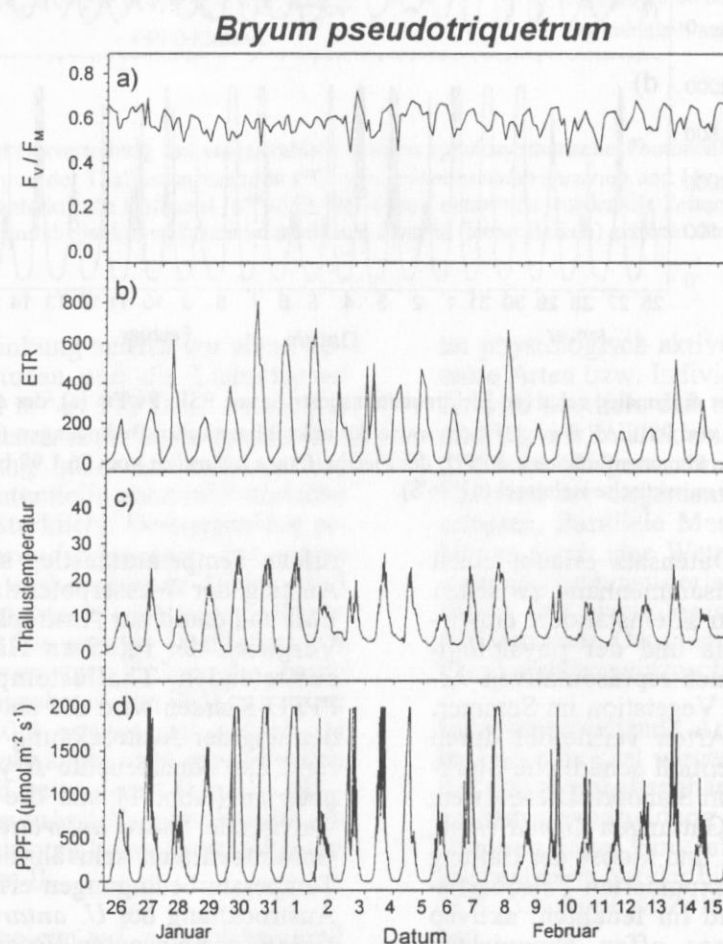


Abb. 1: Tagesgänge der maximalen relativen Elektronentransportrate von PSII, F_v/F_m (a), der apparenten relativen Elektronentransportrate von PSII, $\Delta F/F_m'$, ETR (b) sowie der mikroklimatischen Bedingungen (c: Thallustemperatur, d: photosynthetische Photonendichte, PPF) des Moores *Bryum pseudotriquetrum* vom 26.1.98 bis zum 15.2.98 auf Leonie Island, westliche antarktische Halbinsel ($67^{\circ}36'S$).

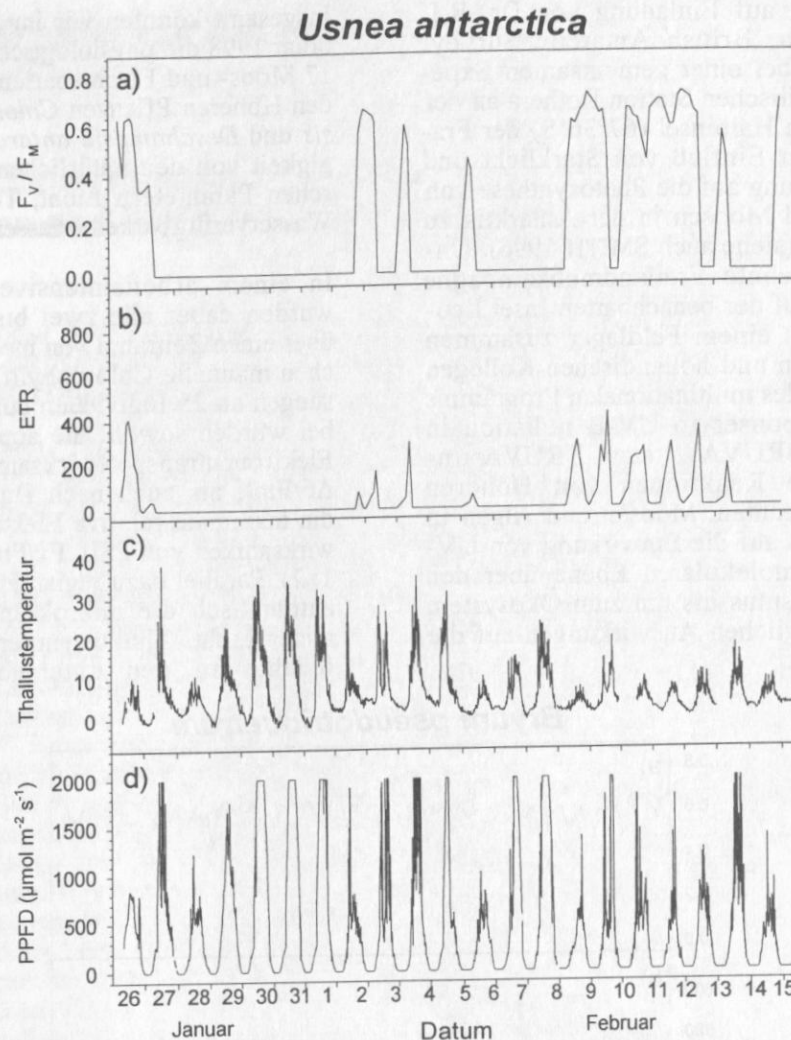


Abb. 2: Tagesgänge der maximalen relativen Elektronentransportrate von PSII, F_v/F_m (a), der apparenten relativen Elektronentransportrate von PSII, $\Delta F/F_m'$, ETR (b) sowie der mikroklimatischen Bedingungen (c: Thallustemperatur, d: photosynthetische Photonenflußdichte, PPFD) der Flechte *Usnea antarctica* vom 26.1.98 bis zum 15.2.98 auf Leonie Island, westliche antarktische Halbinsel ($67^{\circ}36'S$).

Der vorliegende Datensatz erlaubt einen Einblick in den Zusammenhang zwischen dem abhängig vom Kleinstandort einwirkenden Mikroklima und der physiologischen Reaktion eines repräsentativen Artenquerschnitts der Vegetation im Sommer. Eine Reihe von Arten vermeidet durch Austrocknung potentiell schädliche Starklichtbedingungen am Standort. Diese Arten, z.B. Flechten der Gattungen *Usnea* (Abb. 2) und *Umbilicaria* und Moose der Gattung *Andreaea*, die an exponierten Felsoberflächen wachsen, sind im feuchten, aktiven Zustand trotz ihres offen exponierten Standortes den klimatischen Bedingungen eines Schattenstandortes ausgesetzt, da der durch eine stärkere Einstrahlung hervorge-

rufene Temperaturanstieg sofort zu einem Anstieg der Wasserpotentialdifferenz zur Luft und damit zur Austrocknung führt. Im Vergleich der relativen Häufigkeiten der auftretenden Thallustemperaturen und PPFD-Klassen wird die entscheidende Bedeutung der Austrocknung deutlich: Während das dauerfeuchte *Bryum pseudotriquetrum* (Abb. 1) und die wechselfeucht wachsende *Usnea antarctica* (Abb. 2) im Gesamtzeitraum sehr ähnliche Licht- und Temperaturbedingungen erfahren, engt die Austrocknung bei *U. antarctica* den physiologisch relevanten Bereich der Temperatur- und Lichtbedingungen stark ein (Abb. 3).

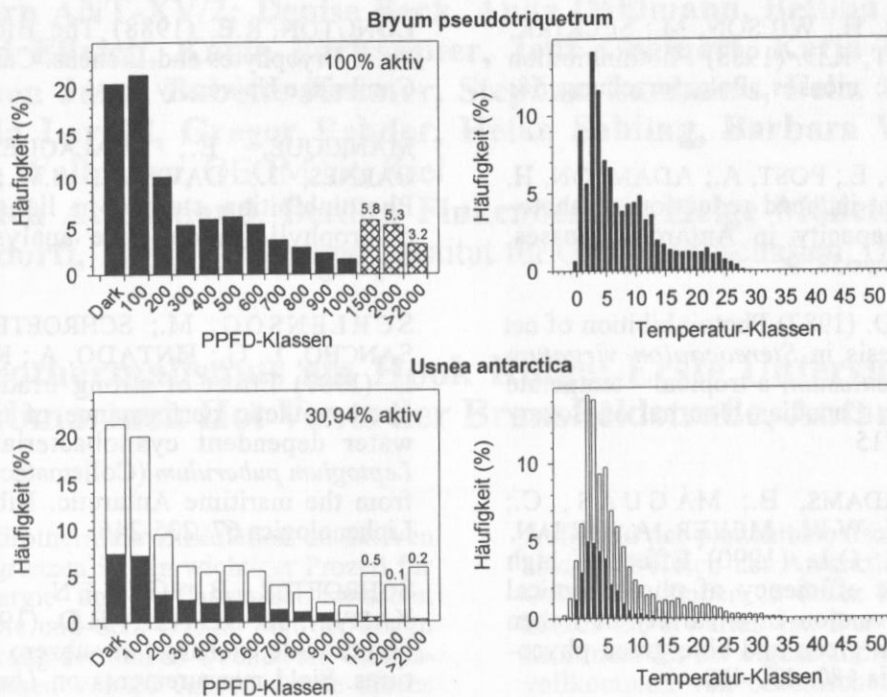


Abb. 3: Häufigkeitsverteilung des eingestrahlenen Lichtes (photosynthetische Photonenflußdichte, PPFD, $\mu\text{mol Photonen m}^{-2} \text{s}^{-1}$) und der Thallustemperaturen ($^{\circ}\text{C}$) von *Bryum pseudotriquetrum* und *Usnea antarctica* auf Leonie Island, westliche antarktische Halbinsel ($67^{\circ}36'S$). Bei *Usnea antarctica* wurden die Zeiten metabolischer Aktivität (gefüllter Balken) und die inaktiven Zeiten im trockenen Zustand (leerer Balken) getrennt dargestellt.

Diese Einschränkung betrifft vor allem höhere Temperaturen und die Lichtklassen über $900 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PPFD. *U. antarctica* vermeidet so durch Austrocknung eine längere Einwirkung hoher Lichtstärken und damit die potentielle photoinhibitorische Wirkung von Starklicht. Demgegenüber erfährt *Bryum pseudotriquetrum* das ganze am Standort vorkommende Licht- und Temperaturspektrum im physiologisch aktiven Zustand. Die geringe Oszillation des Fluoreszenzparameters F_v/F_m , der maximalen Quantenausbeute von PSII, um einen Wert von ca. 0.6 erweist sich jedoch als weitgehend unabhängig vom einwirkenden Lichtklima und zeigt damit keinerlei Hinweise auf eine mögliche photoinhibitorische Streßeinwirkung hoher Einstrahlungen auf Photosystem II.

Unsere Daten zeigen auf, wie selektiv und artspezifisch die klimatischen Bedingungen

im physiologisch aktiven Zustand für einzelne Arten bzw. Individuen einer Art sind. Es wird deutlich, daß ein detailliertes Monitoring der mikroklimatischen Bedingungen notwendig ist, um die physiologische Aktivität der Organismen am Standort zu erfassen. Parallele Messungen des Mesoklimas durch eine Wetterstation können es dann darüberhinaus erlauben, die Charakteristika der physiologischen Aktivität der poikilohydrn Organismen in Relation zum Standortklima einzuschätzen.

Eine weitergehende Analyse, die zur Zeit im Labor in Kiel vorgenommen wird, wird die wassergehaltsabhängige Strategie der Lichtstressvermeidung im Vergleich zum Ertragen hoher Einstrahlungen im aktiven Zustand auch auf der biochemischen Ebene (z.B. Xanthophyll-Zyklus) näher beschreiben.

Zitierte Literatur:

- ADAMSON, H.; WILSON, M.; SELKIRK, P.; SEPPELT, R.D. (1988) Photoinhibition in Antarctic mosses. *Polarforschung* 58: 103-112
- ADAMSON, E.; POST, A.; ADAMSON, H. (1989) Light-induced reduction of photosynthetic capacity in Antarctic mosses. *ANARE News* 58: 9
- COXSON, D. (1987) Photoinhibition of net photosynthesis in *Stereocaulon virgatum* and *S. tomentosum*, a tropical - temperate comparison. *Canadian Journal of Botany* 65: 1707-1715
- DEMMIG-ADAMS, B.; MÁGUAS, C.; ADAMS III, W.W.; MEYER, A.; KILIAN, E.; LANGE, O.L. (1990) Effect of high light on the efficiency of photochemical energy conversion in a variety of lichen species with green and blue-green phycobionts. *Planta* 180: 400-409
- GREEN, T.G.A.; SCHROETER, B.; SANCHO, L.G. (1999) Plant life in Antarctica. In: *Handbook of Functional Plant Ecology*. Pugnaire, F. & Valladares, F. (eds.), Marcel Dekker, New York: 495-543
- KAPPEN, L. (1993) Lichens in the Antarctic region. In: *Antarctic Microbiology*. Friedmann, E.I. (ed.). Wiley-Liss: 433-490
- KAPPEN, L.; LANGE, O.L. (1972) Die Kälteresistenz einiger Macrolichenen. *Flora* 161: 1-29
- KAPPEN, L.; SCHROETER, B.; GREEN, T.G.A.; SEPPELT, R.D. (1998) Chlorophyll *a* fluorescence and CO₂ exchange of *Umbilicaria aprina* under extreme light stress in the cold. *Oecologia* 113: 325-331
- LARSON, D.W. (1989) The impact of ten years at -20°C on gas exchange in five lichen species. *Oecologia* 78: 87-92
- LONGTON, R.E. (1988) *The Biology of Polar Bryophytes and Lichens*. Cambridge: Cambridge University Press
- MANRIQUE, E.; BALAGUER, L.; BARNES, J.; DAVISON, A.W.; (1993) Photoinhibition studies in lichen using chlorophyll fluorescence analysis. *The Bryologist* 96: 443-449
- SCHLENSOG, M.; SCHROETER, B.; SANCHO, L. G.; PINTADO, A.; KAPPEN, L. (1997) Effect of strong irradiance on photosynthetic performance of the melt-water dependent cyanobacterial lichen *Leptogium puberulum* (Collemales) Hue from the maritime Antarctic. *Bibliotheca Lichenologica* 67: 235-246
- 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. *Cryptogamic Botany* 4: 233-241
- SMITH, R.I.L. (1996) Terrestrial and freshwater biotic components of the western Antarctic Peninsula. In: *Foundations for ecological research west of the Antarctic Peninsula*. Antarctic Research Series 70: 15-59
- WISE, K.A.J.; GRESSIT, J.L. (1965) Far southern animals and plants. *Nature* 207: 101-102

Burkhard Schroeter
 Mark Schlensoeg
 Botanisches Institut
 Am Botanischen Garten 1-9
 24118 Kiel
 Germany