

Aus dem Institut für Polarökologie  
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

---

**Zur Struktur und Interaktion der Kryptogamenvegetation  
in der maritimen Antarktis  
mit Beiträgen zur Ökologie ausgewählter Moos- und Flechtenarten**

Dissertation  
Zur Erlangung des Doktorgrades  
der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät  
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

---

vorgelegt von  
Florian Schulz

---

Kiel 2000





# INHALT

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Material und Methoden.....</b>	<b>6</b>
2.1	Das Untersuchungsgebiet .....	6
2.1.1	Geographische Lage, Topographie und Geologie.....	6
2.1.2	Wetter .....	13
2.2	Vegetationsuntersuchungen.....	15
2.2.1	Anlage der Transekte .....	16
2.2.2	Frequenzanalysen.....	18
2.2.3	Clusteranalysen .....	18
2.2.4	Strukturanalysen .....	20
2.2.5	Größenverteilung von Strauchflechten.....	23
2.3	Mikroklima .....	25
2.3.1	Licht, Temperatur und Luftfeuchte .....	25
2.3.2	Niederschlag und Evaporation .....	26
2.3.3	Wind.....	31
2.3.4	Datenaufzeichnung und Verarbeitung.....	31
2.4	Wassergehaltsmessungen an Flechten und Moosen.....	33
<b>3</b>	<b>Ergebnisse .....</b>	<b>34</b>
3.1	Vegetationsuntersuchungen.....	35
3.1.1	Frequenzanalysen.....	35
3.1.1.1	Vegetation in Abhängigkeit vom Mikrorelief.....	35
3.1.1.2	Vegetationszonierung entlang eines komplexen Gradienten.....	37
3.1.1.3	Gruppen und Wuchsformen.....	41
3.1.1.4	Expositionsabhängigkeit.....	43
3.1.1.5	Klassifizierung .....	44
3.1.2	Struktur der Vegetation .....	48
3.1.2.1	Usnea aurantiaco-atra im Kuppenbereich .....	48
3.1.2.2	Himantormia lugubris dominant.....	50
3.1.2.3	Himantormia lugubris im unteren Transektbereich .....	52
3.1.2.4	Usnea antarctica in exponierter Lage .....	53
3.1.2.5	Auswirkung der Strauchflechtenschicht auf die untere Vegetationsschicht.....	55
3.1.2.6	Veränderung der Lichtverhältnisse durch Strauchflechten .....	56
3.1.2.7	Lichtbedingungen für Moose unter Strauchflechten .....	58
3.1.3	Ansiedlung und Größenverteilung von Strauchflechten .....	61
3.1.3.1	Erstes Transekt zur Größenverteilung (F2) .....	61
3.1.3.2	Zweites Transekt zur Größenverteilung (F3) .....	64
3.1.3.3	Drittes Transekt zur Größenverteilung (F4) .....	65
3.1.3.4	Flechtengröße, Gesteinsgröße und Apothezienerfolg .....	66

3.2	Mikroklima .....	69
3.2.1	Vergleich von Wuchsformen und Pigmentierung .....	69
3.2.2	Bedingungen während der Ausaperung.....	75
3.2.3	Mikroklima unter Strauchflechten .....	80
3.2.4	Vergleich des Mikroklimas von lebenden und toten Thalli von Usnea aurantiaco-atra.....	84
3.2.5	Wasserhaushalt .....	87
3.2.5.1	Langfristige Messungen der Niederschläge an benachbarten Standorten .....	87
3.2.5.2	Niederschlag und Verdunstung .....	90
3.2.5.3	Evaporation und Windverhältnisse .....	94
3.2.5.4	Wassergehaltsmessungen an Flechten und Moosen .....	96
<b>4</b>	<b>Diskussion.....</b>	<b>103</b>
4.1	Sukzession und Dynamik der Vegetation .....	105
4.2	Einfluß des Wasserhaushaltes auf die Vegetationsstruktur und die Konkurrenzverhältnisse.....	107
4.3	Einfluß der Pigmentierung und Wuchsform auf die Bedingungen am Standort.....	112
4.4	Biogene Einflüsse auf die Zusammensetzung der Vegetation .....	114
4.5	Charakterisierung der Ökologie ausgewählter Arten .....	117
4.5.1	Die Strauchflechte Usnea aurantiaco-atra .....	117
4.5.2	Die Strauchflechte Himantormia lugubris .....	120
4.5.3	Polsterförmige Moose Andreaea gainii und A. regularis .....	122
4.5.4	Rasenbildende Moose Chorisodontium aciphyllum und Polytrichum alpinum.....	123
4.5.5	Die teppichbildenden Moose Sanionia uncinata und Calliergon sarmentosum .....	126
4.5.6	epibrye Flechten Ochrolechia frigida und Psoroma hypnorum.....	127
4.5.7	Lebermoose .....	129
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>130</b>
<b>6</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>133</b>

## Begriffserklärungen

GaAs	Gallium-Arsenid
<u>Großrest</u>	hier alle Pflanzenreste unterhalb der obersten Vegetationsschicht, die Spuren der Zersetzung zeigten
PAR	photosynthetic active radiation für die Photosynthese nutzbare Strahlung
PE	Polyethylen
Polster	„± hemisphärische Pflanze die durch von einem zentralen Punkt ausgehende Stämmchen gebildet wird“ (SMITH 1980)
<u>polsterförmig</u>	Planze mit ± hemisphärischer Oberfläche, bei der die Stämmchen nicht von einem zentralen Punkt entspringen
PPFD	photosynthetic photon flux density Quantenstromdichte für die Photosynthese nutzbarer Strahlung
Rasen	„Wuchsform von aufrechten, parallel gerichteten Stämmchen“ (SMITH 1980)
<u>rasenartig</u>	Pflanze mit aufrechten Stämmchen, die nur scheinbar parallel verlaufen (z.B. sehr dicht zusammenstehende Polster)
<u>Sammler</u>	hier: 250 ml PE-Weithalsflasche zum Auffangen von Niederschlag
<u>Wuchsform</u>	hier im Sinne von „growth form“ <i>sensu</i> SMITH & GIMINGHAM (1971) gebraucht

Unterstrichen sind alle Begriffe, die nicht allgemein so definiert oder unterschiedlich belegt wurden.

# 1 Einleitung

Das Pflanzenleben wird an den natürlichen Standorten von der Verfügbarkeit der Ressourcen und deren Nutzung durch die Pflanzen, sowie von der Interaktion mit anderen Organismen bestimmt. Abiotische und biotische Faktoren treten in Wechselwirkung. Die Arten sind strukturell (z. B. Stabilität, Größe) und funktionell (z.B. Wasserhaushalt, Frost- und Hitzeresistenz) an die jeweiligen Bedingungen ihres Wuchsortes angepaßt (LARCHER 1994). Diese Anpassungen spiegeln sich in der Vegetationszusammensetzung und –struktur wieder. Solche strukturellen und funktionellen Zusammenhänge lassen sich in der vergleichsweise einfach strukturierten Vegetation der Antarktis (USHER 1983) mit größerem Erfolg untersuchen als in den komplexen Ökosystemen der temperaten Zonen.

In dem sowohl für Pflanzen als auch für Tiere unwirtlichen Lebensraum der Antarktis sollten nur Spezialisten überleben. Dafür spricht, dass die Flora der Antarktis insgesamt recht artenarm ist. Neben zwei nativen Gefäßpflanzenarten geht man heute von nur noch ca. 260 Flechten- (CASTELLO & NIMIS 1997), 104 Laubmoos- (OCHRYA *et al.* 1998) und ca. 20 Lebermoosarten (OCHRYA & VÁNA 1989) aus.

Flechten und Moose bilden den Hauptbestandteil der terrestrischen Vegetation. Meist ist die Vegetation der maritimen Antarktis entweder aus Moosen oder aus Flechten aufgebaut. Auf trockenen Standorten dominieren Strauchflechten wie *Usnea aurantiaco-atra*, *Usnea antarctica* und *Himantormia lugubris* (z.B. GIMINGHAM & SMITH 1970, LINDSAY 1971). Mittelmäßig feuchte bis nasse Standorte werden meist von Moosen unterschiedlicher Wuchsform geprägt (GIMINGHAM & SMITH 1970, LONGTON 1988).

Das Substrat ist gekennzeichnet durch Armut an feinkörnigem Material und Humus. Skelettreicher Boden herrscht vor, der zudem eine erhebliche Mobilität durch Kryoturbation zeigen kann (CHAMBERS 1967).

Die mikroklimatischen Bedingungen sind durch niedrige Temperaturen und den Wechsel von langen lichtlosen Perioden und Lichtphasen geprägt (Polartag und –nacht). Selbst in der relativ feuchten maritimen Antarktis kann es im Sommer immer wieder für die Organismen zu trockenen Perioden kommen (z.B. DAVEY 1997,

SCHROETER *et al.* 1997), gefördert besonders durch den Mangel an Strahlungsschutz und die meist starken Winde.

Die Anpassungen ausgewählter antarktischer Moos- und Flechtenarten an diese Bedingungen waren bereits Gegenstand verschiedener Studien (Übersichten z.B. in LONGTON 1988, KAPPEN 1988, 1993, GREEN *et al.* 1999). So wurden an zahlreichen Arten Photosyntheseverhalten und Wasserhaushalt in Relation zu den standörtlichen Bedingungen (z.B. KAPPEN 1985C, 1990, KAPPEN *et al.* 1987, KAPPEN & REDON 1987), Photosynthese und Stoffgewinn bei niedrigen Temperaturen (SCHROETER 1997), der Einfluß von Schnee auf die Physiologie (WINKLER 2000) und die Reaktion auf Starklichtbedingungen am Standort (SCHLENSOG 2000) bereits ausführlich untersucht. Aufgrund der Fortschritte in der Mikroelektronik konnten von uns erstmals mehrjährig Mikroklima und Aktivitätszeiträume einer Strauchflechte aufgenommen werden und so z.B. nachgewiesen werden, dass im Frühjahr und Herbst größere Stoffumsätze und Gewinne getätigt werden als im vermeintlich produktiven Sommer (SCHROETER *et al.* 1997, 2000).

Die Poikilohydrie der Moose und Flechten spielt für die Anpassung an die lebensfeindlichen Bedingungen der Antarktis eine entscheidende Rolle (KAPPEN 1985 a, 1988). Die poikilohydrnen Moose und Flechten überdauern ungünstige Lebensbedingungen im trockenen Zustand der Anabiose. Während der Anabiose sind die Lebensfunktionen quasi nicht messbar. In diesem Zustand werden sowohl extreme Temperaturen als auch Lichtbedingungen ertragen (z.B. LANGE 1953, KAPPEN & LANGE 1972). Im feuchten Zustand mit großer Stoffwechselaktivität sind die Grenzen der tolerablen Bedingungen sehr viel enger. Das „Aufwachen“ aus dem Zustand der Anabiose; der Übergang vom inaktiven zum stoffwechselaktiven Zustand ist für viele Moose- und Flechten mit „Kosten“ verbunden, da z.B. die Membranstruktur wieder hergestellt werden muß (BEWLEY 1979). Es kommt z.B. zu einer Resaturationsatmung, die für viele Flechten- (FARRAR & SMITH 1976) und Moosarten (DILKS & PROCTOR 1976) nachgewiesen wurde. Es ist durchaus denkbar, dass der Ausfall vieler Arten mit steigendem Breitengrad auf steigende Aufwendungen zur Schadensreparatur zurückzuführen ist.

Auch durch Frost findet eine Austrocknung auf Zellebene statt, da das Wasser extrazellulär gefriert. Für ein Moos der Antarktis wurde nachgewiesen, dass es durch Gefrieren und anschließendes Auftauen einen Schaden am Photosyntheseapparat



erlitt (KENNEDY 1993b). Für Flechten sind entsprechende Beeinträchtigungen nicht bekannt.

Die meisten Flechten sind jedoch wohl auf wechselfeuchte Bedingungen angewiesen um das Gleichgewicht zwischen den Symbionten zu halten (MACFARLANE & KERSHAW 1982). Von Moosen wird Dauerfeuchte nicht nur gut ertragen, sondern hygrische Arten sind sogar darauf angewiesen (CLAUSEN 1964, DILKS & PROCTOR 1974).

Daneben besteht zusätzlich auch die Möglichkeit, dass allgemein ungünstige Bedingungen zu einer Verschlechterung der Kohlenstoffbilanz führen bis über längere Zeiträume kein Stoffgewinn mehr zu erzielen ist. Hierbei von besonderem Interesse sind Jugendstadien von Pflanzen, die eine besondere Empfindlichkeit gegenüber Extrembedingungen haben. Die Verteilung der Alters- und Größenstruktur der Pflanzen bietet Hinweise auf zeitlich begrenzt auftretende Stressfaktoren.

Gerade bei Moosen und Flechten, die durch ihre poikilohydre Lebensweise an das Überleben mancher extremer Standorte gut angepaßt sind (z.B. LÖSCH *et al.* 1997), stellt sich die Frage, ob für die Antarktis neben den inhärenten Eigenschaften ihrer Gruppen weitere evolutive Anpassungen ausgeprägt wurden (z.B. KAPPEN 1993a, GREEN *et al.* 1999).

Einen Hinweis auf die Ausprägung solcher Anpassungen könnte das Auftreten von Endemiten bieten. Während die Anzahl der endemischen Arten in der Antarktis bei den Moosen mit 8% (OCHYRA 1998) gering eingeschätzt wird, werden zur Zeit aber 38% der gesamten Flechtenflora als endemisch angesehen (CASTELLO & NIMIS 1997), wobei in der klimatisch begünstigten maritimen Antarktis (HOLDGATE 1964) 32% der Flechtentaxa als endemisch betrachtet werden.

Die Lebensform der Pflanzen, d.h. ob die Flechten strauch-, blatt- oder krustenförmig auftreten und die Moose Rasen, Polster, Matten oder Teppiche bilden, ist ein weiteres entscheidendes Kriterium für die Nutzung der Ressourcen und das Überleben der lebensfeindlichen Bedingungen. Die Klassifikation der Antarktischen Vegetation auf Formations- und Subformationsebene erfolgt hauptsächlich nach den Wuchsformen der aufbauenden Arten (SMITH & GIMINGHAM 1976). Da für die

Subformationen ökologische Charakterisierungen vorliegen, werden die Wuchsformen mit dem Vorliegen bestimmter Bedingungen in Verbindung gebracht. Die Lebensform wird also nicht nur als eine Beschreibung der Morphologie (MEUSEL 1935) sondern vielmehr als ein ökologisches Konzept verstanden (MÄGDEFRAU 1982). Sowohl bei Flechten (z.B. COXSON & LANCASTER 1988) als auch bei Moosen (z.B. GIMINGHAM & SMITH 1971, MÄGDEFRAU 1982) ist der Wasserhaushalt eng mit der Wuchsform verbunden.

In den artenreichen Vegetationstypen der maritimen Antarktis koexistieren verschiedene Wuchsformen von Moosen und Flechten miteinander. Die Vegetation ist stellenweise sehr dicht und kann aufgrund ihres mehrschichtigen Aufbaus sogar über 100 % Deckung aufweisen.

In einer solchen artenreichen Vegetation sind neben der Reaktion auf die abiotische Umwelt Wechselwirkungen zwischen einzelnen Arten und Wuchsformen zu erwarten. Trotz der bestimmenden Wirkung der Wasserverfügbarkeit für die spezifische Überlebensfähigkeit von poikilohydran Organismen, wird aufgrund der Unfähigkeit zur aktiven Wasseraufnahme davon ausgegangen, dass in erster Linie um Licht und Raum konkurriert wird (RYDIN 1997).

Da alle Arten in lichtereren Gesellschaften häufiger auftreten als in den artenreichen Gesellschaften, kann davon ausgegangen werden, dass Interaktionen zwischen Arten das Resultat von allgemeinen Überlebensstrategien sind und nicht auf die speziellen Konkurrenz- und Förderungsverhältnisse der Standorte optimiert wurde. Eine solche Ausgangslage könnte auch Hinweise zur Überprüfung von LARCHER'S (1994) Hypothese liefern, ob an abiotisch günstigen Standorten hauptsächlich „Wettbewerbsstreß“ herrscht und an Grenzstandorten „klimatisch-edaphischer“ Streß. Mit einem anderen Fokus, aber im Grundproblem sehr ähnlich, wird bislang sehr kontrovers darüber diskutiert, ob der Konkurrenzdruck in unproduktiven Pflanzengesellschaften geringer ist als in produktiven (z.B. GRIME 1979, TILMAN 1982, 1988, GOLDBERG & NOVOPLANSKY 1997).

Die Aufgabe dieser Arbeit war es nun, die Struktur von artenreichen Gesellschaften zu untersuchen und die Prozesse, die für deren Bildung und Strukturierung ausschlaggebend waren, zu identifizieren. Es mußten die abiotischen Faktoren

ermittelt werden und mit den Indizien für Interaktionen zusammen untersucht werden. Besonders vorteilhaft für die Untersuchung von Interaktionen zwischen Flechten und Moosen ist die weitestgehende Abwesenheit von Gefäßpflanzen in der Antarktis.

Die folgenden Fragen, die strukturelle und funktionelle Aspekte zusammenführen, waren von besonderem Interesse:

- Gibt es innerhalb der Vegetation eine ausgeprägte mikroklimatische Differenzierung verschiedener Wuchsformen von Moosen und Flechten?
- Wie stark verändern biotische Faktoren die standörtlichen Bedingungen (insbesondere das Mikroklima)?
- Gibt es Verdrängungsprozesse (Sukzession/Fluktuation) und welche Richtung verlaufen sie?
- In welcher Weise wird die Wasserverfügbarkeit durch den Wuchsformtypus modifiziert?
- Sind die Unterschiede in der Wasserverfügbarkeit zwischen einzelnen Standorten oder zwischen Wuchsformen größer?
- Welches sind die Bedingungen, unter denen sich eine artenreiche Vegetation ausbildet?
- Wie stabil sind artenreiche Gesellschaften und wie reagieren sie auf Störungen?

Um diesen Fragen im Detail nachzugehen, wurde die Vegetation kontinuierlich in Transekten entlang von Schnee/Feuchtigkeitsgradienten charakterisiert und die räumliche Anordnung einzelner Pflanzenelemente zueinander untersucht. Dabei wurden auch tote Thalli und bestimmbare Großreste berücksichtigt, anhand derer auf die Vegetationsentwicklung geschlossen werden konnte. Im Vergleich mit weniger diversen Standorten wurde das Mikroklima z.T. derselben Arten zu verschiedenen Jahreszeiten untersucht um standortspezifisches von artspezifischem Mikroklima zu trennen. Da, wie besprochen, der Wasserhaushalt wahrscheinlich eine Schlüsselstellung für die Strukturgebung der Vegetation einnimmt, wurden anhand von kleinräumigen, standortspezifischen Niederschlags- und langfristigen Wassergehaltmessungen die Beziehungen zwischen Wuchsform und Wasserverfügbarkeit am Standort analysiert.

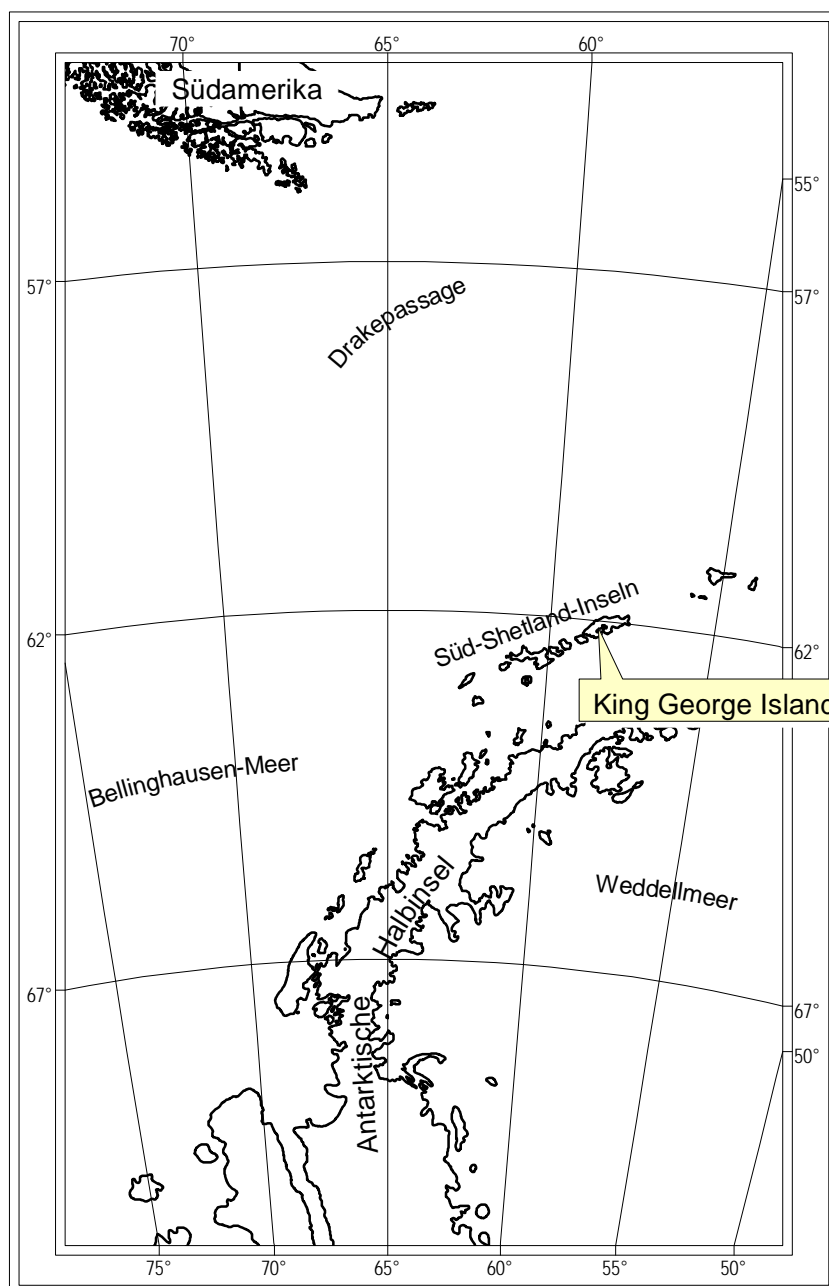
## 2 Material und Methoden

### 2.1 Das Untersuchungsgebiet

#### 2.1.1 Geographische Lage, Topographie und Geologie

##### 2.1.1.1 Die Süd-Shetland-Inseln und King George Island (Abb. 2.1 und 2.2)

Die Süd-Shetland-Inseln sind eine der Antarktischen Halbinsel vorgelagerte Inselgruppe aus zehn größeren und zahlreichen kleineren Inseln und Felsen. Sie

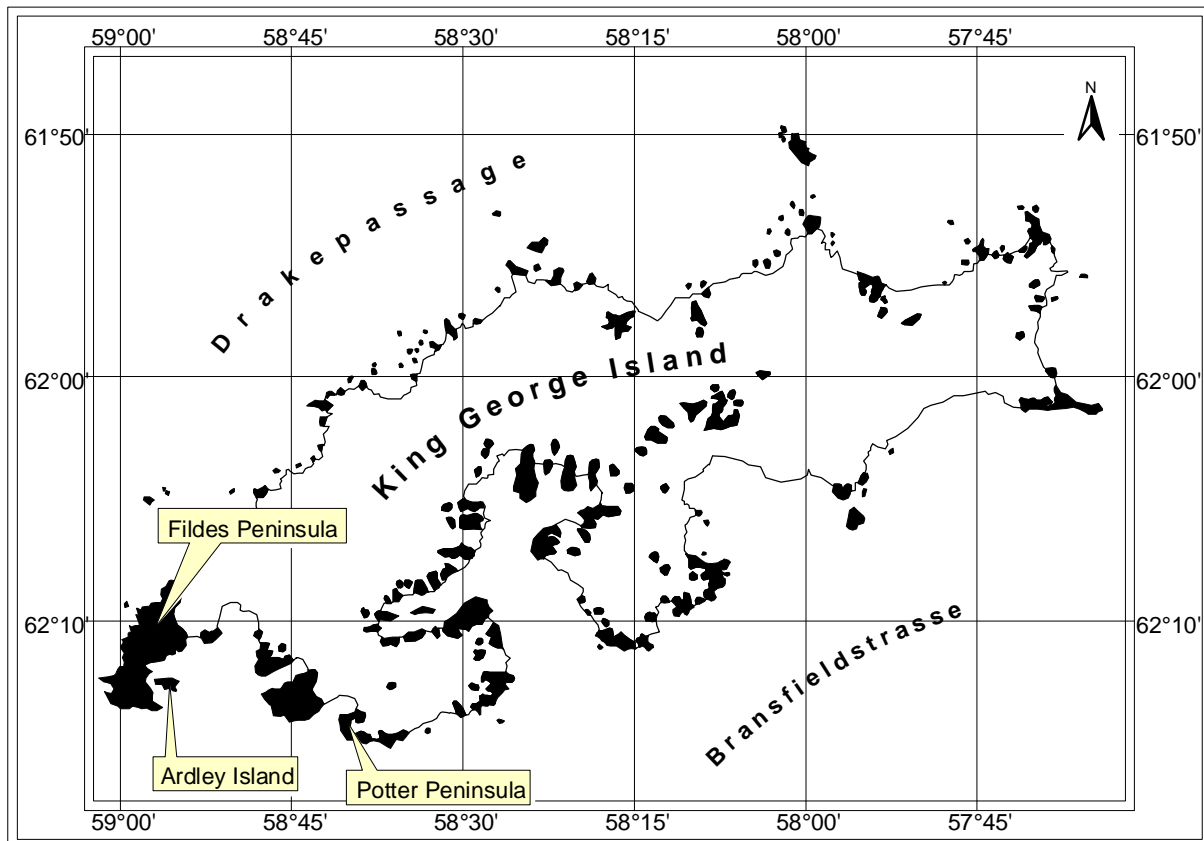


erstrecken sich von 61° bis 63° Süd und von 53° bis 63° West. Die Inseln bestehen im wesentlichen aus vulkanischen Gesteinen, das Vorkommen von Sedimentgesteinen stellt die Ausnahme dar. Aktiver Vulkanismus lässt sich z.B. noch auf Deception Island beobachten.

Die größte Insel dieser Gruppe ist King George Island (Abb. 2.2) mit einer Länge von ca. 65 km und einer Breite von 40 km. Ihre Südküste

**Abb. 2.1:** Karte der geographischen Lage von den Süd-Shetland-Inseln und King George Island, auf der die Untersuchungen durchgeführt wurden. (Kartengrundlage: [www.esri.com](http://www.esri.com), transversale Mercatorprojektion)

ist geprägt von verschiedenen Buchten und Halbinseln, während die Nordküste wenig buchtig ist, aber zahlreiche vorgelagerte Felsen aufweist. Das Zentrum der Insel ist vergletschert, wobei sich die Eiskappe bis auf 686 m über Meeresspiegel erhebt. Der höchste eisfreie Nunatak (Rolnicki Buttress) erreicht 549 m. Das Oberflächengestein der Insel besteht hauptsächlich aus Andesiten, weniger Basalten; nur vereinzelt kommen auch Sedimentgesteine vor (BARTON 1965).



**Abb. 2.2:** Karte von King George Island mit der Lage der drei Untersuchungsgebiete, schwarze Flächen geben die Lage der eisfreien Gebiete. (digitalisiert nach OCHYRA 1998, umgerechnet in transversale Mercatorprojektion)

Die eisfreien Gebiete auf King George Island nehmen zur Zeit ca. 5 % der Landoberfläche ein. Man nimmt an, dass wesentliche Teile der freien Gebiete, wie z.B. die Fildes Halbinsel, erst vor ca. 8000 Jahren eisfrei wurden (BARSCH *et al.* 1985). Trotz der vergleichsweise hohen Jahresmitteltemperatur von  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$  wurde dort überall Permafrost nachgewiesen (BARSCH *et al.* 1985). Frostmuster sind häufig anzutreffen. Die Bewegungsgeschwindigkeiten können dabei ganz erheblich sein. In der maritimen Antarktis wurden Frosthebungen bis zu 5 cm/a beobachtet (CHAMBERS 1967).

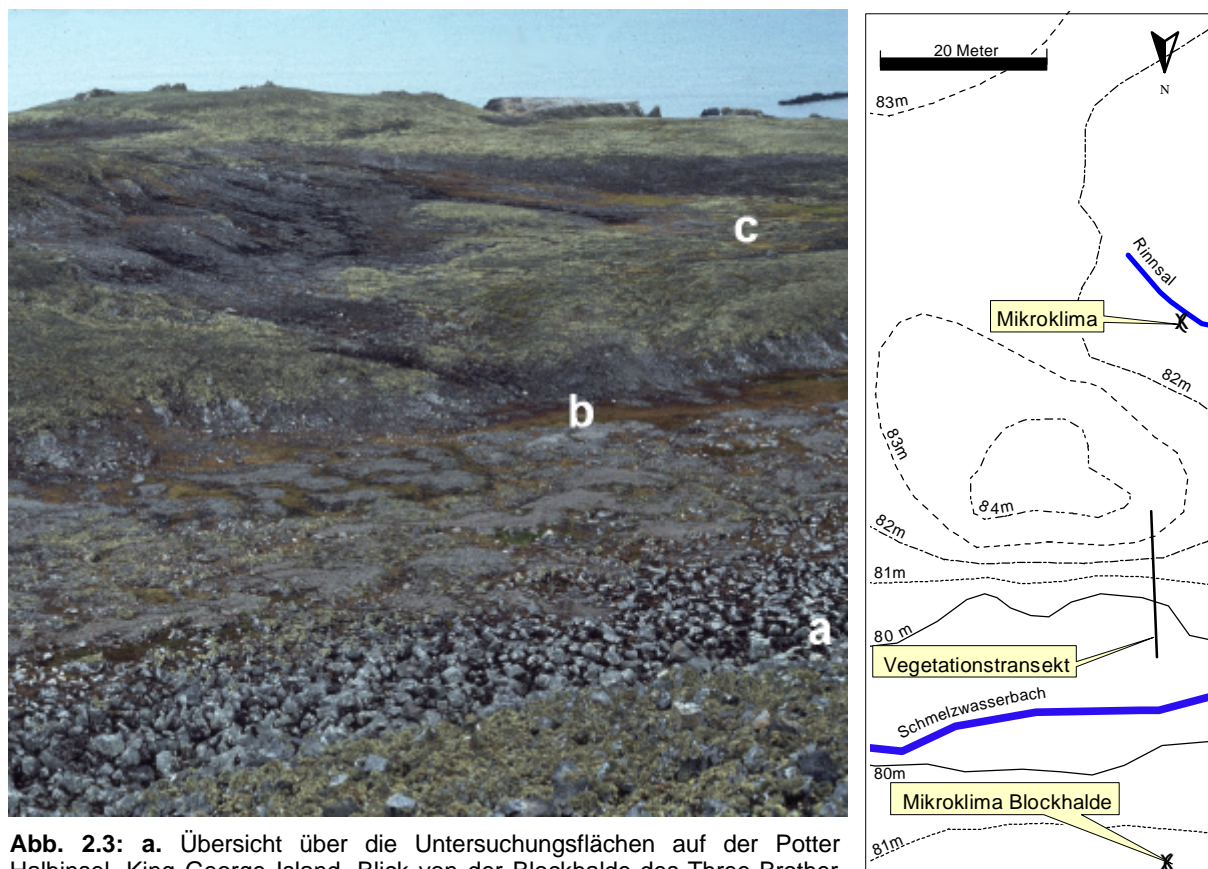
King George Island ist in der Antarktis das Gebiet mit der höchsten Stationsdichte (8 ganzjährige und 2 Sommerstationen, sowie einige Hütten). Nicht zuletzt deshalb zählt dieses Gebiet auch zu den floristisch wie vegetationskundlich am besten

untersuchten Gebieten (z.B. LINDSAY 1971, FURMANCZYK & OCHYRA 1982, JACOBSEN & KAPPEN 1988, PUTZKE & PEREIRA 1991, HU 1998, OCHYRA 1999).

Die Untersuchungen wurden ursprünglich auf der Potter Halbinsel (King George Island) begonnen, wofür die argentinisch/deutsche Station „Jubany/Dallmann-Labor“ als logistische Basis diente. Später wurden allerdings, aus Mangel an verfügbarer Stationszeit, die Untersuchungen auf die Fildes Halbinsel (King George Island) mit der chinesischen Station „Great Wall“ als Ausgangsbasis und nach Ardley Island mit der ehemaligen „deutschen Hütte“ verlagert (vgl. Abb. 2.4 + 2.5).

### 2.1.1.2 Potter Halbinsel

Die Potter Halbinsel befindet sich an der Südwestküste von King George Island. Westlich liegt die Potter Cove, östlich grenzt die Halbinsel an die Bransfield Strait. Nördlich befinden sich Ausläufer des zentralen Gletschers. Das eisfreie Gebiet hat eine Größe von mehreren Quadratkilometern. Zentrale Erhebung ist der Three Brothers Hill (Tres Hermanos), ein Basaltfelsenkomplex von 196 m Höhe. Der größte Teil der Landfläche wird von Moränenkuppen bedeckt, die zum Gletscher hin zunehmend vegetationsärmer bzw. ganz vegetationsfrei werden. Entlang der Küste



**Abb. 2.3:** a. Übersicht über die Untersuchungsflächen auf der Potter Halbinsel, King George Island. Blick von der Blockhalde des Three Brother Hills in Richtung Süd-Westen. a.) Mikroklima Blockhalde und Bachtälchen, b.) Vegetationstransect c.) Mikroklima (Lichtverhältnisse unter Flechten, Thallusfärbung und Ausaperung). b. schematische Skizze mit Lage der Untersuchungsstandorte (Karte aus WINKLER 2000, verändert)

zur Bransfieldstrasse befinden sich hohe Kliffs, so dass Strandterrassen nur ansatzweise zu finden sind.

Als Untersuchungsfläche wurde eine Plateaufläche seeseitig vom Three Brothers Hill ausgewählt (Abb. 2.3). Dieser Bereich war gletscherfern ( $> 1\text{ km}$  Luftlinie Entfernung) und stockte auf Grobschotter, der von kryoturbaten Prozessen wenig beeinflusst schien. Im Vergleich zu anderen horizontalen Flächen auf der Potter Halbinsel war die Vegetation auf der untersuchten Fläche üppiger und artenreicher. Aus diesem Grunde wurde sie für die Untersuchungen ausgewählt. Pinguinkolonien befanden sich erst in ca. 3 km Entfernung. Von anderen brütenden Seevögeln war aufgrund der Distanz oder Anzahl ebenfalls nur ein geringer Einfluß zu erwarten. Mit der Wahl dieser Untersuchungsflächen wurde vermieden, dass starke Nährstoffgradienten einen zusätzlichen, verkomplizierenden Faktor für die Ausgestaltung der Vegetation darstellten. Eine Beschreibung der Untersuchungsfläche mit Angaben zur langfristigen Schneebedeckung findet sich in WINKLER (2000).

Im Bereich der ausgewählten Fläche wurden Vegetationsanalysen und mikro-klimatische Untersuchungen durchgeführt.

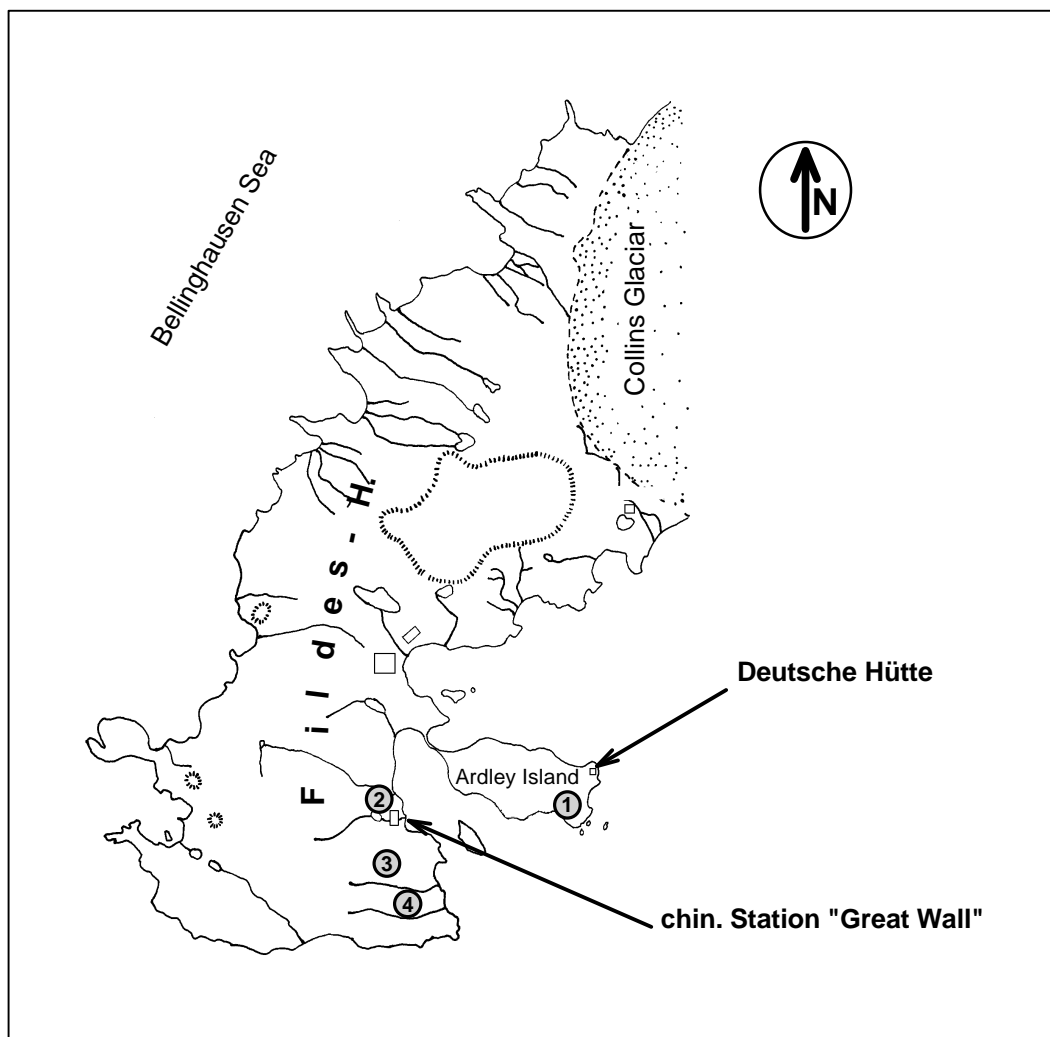
Als logistische Basis diente während der Untersuchungsperioden November 1993 bis Januar 1994, Mitte Oktober bis Ende November 1994 und Februar bis März 1996 das „Dallmann-Labor“, eine deutsche Annex-Station an die argentinische Station Jubany.

#### 2.1.1.3 Fildes Halbinsel (Abb. 2.4)

Die Südwestspitze von King George Island wird von der Fildes Halbinsel (Abb. 2.2 und 2.4) gebildet. An der Westseite befindet sich die offene Bellinghausen-See, während im Osten die Maxwell-Bucht liegt. Die Nordbegrenzung wird vom Fildes-Gletscher (Collins-Eiskappe) gebildet, der einen Ausläufer des zentralen Eisschildes der Insel darstellt. Das Gelände weist zahlreiche Erhebungen auf, die bis zu 164 m Höhe (Horatio Stump) erreichen. Vulkanische Gesteine überwiegen, insbesondere Andesite (BARTON 1965); Sedimentgesteine kommen nur sehr kleinflächig als Zwischenlagen vor, wie z.B. beim Fossil Hill, wo versteinerte Reste von z.B. *Nothofagus* zu finden sind.

Mit einer offenen Landfläche von ca. 25 km<sup>2</sup> ist die Fildes Halbinsel das zweitgrößte eisfreie Gebiet auf den South Shetland Islands (OCHRYA 1998). Auf der Halbinsel ist die Vegetation sehr ungleichmäßig verteilt. BARSCH *et al.* (1985) vermerken dazu: „Tundrenvegetation tritt aber auf der Fildes Halbinsel nur lückenhaft stellenweise

auf“. Langanhaltend von Schnee bedeckte große Geländesenken und Moränen mit starker Solifluktion sind absolut vegetationsfrei. Reichere Pflanzengesellschaften finden sich im südöstlichen Teil, während zur Bellinghausen-See und zum Fildes/Collins-Gletscher hin eine zunehmende Verarmung zu beobachten ist (LINDSAY 1971). Pinguinkolonien kommen auf der Fildes Halbinsel nicht vor und auch von anderen Seevögeln ist der Brutbestand gering (mit Ausnahme des Riesensturmvogels *Macronectis giganteus*), so dass nur ein schwacher Einfluß der Tierwelt auf die untersuchte Vegetation anzunehmen ist.



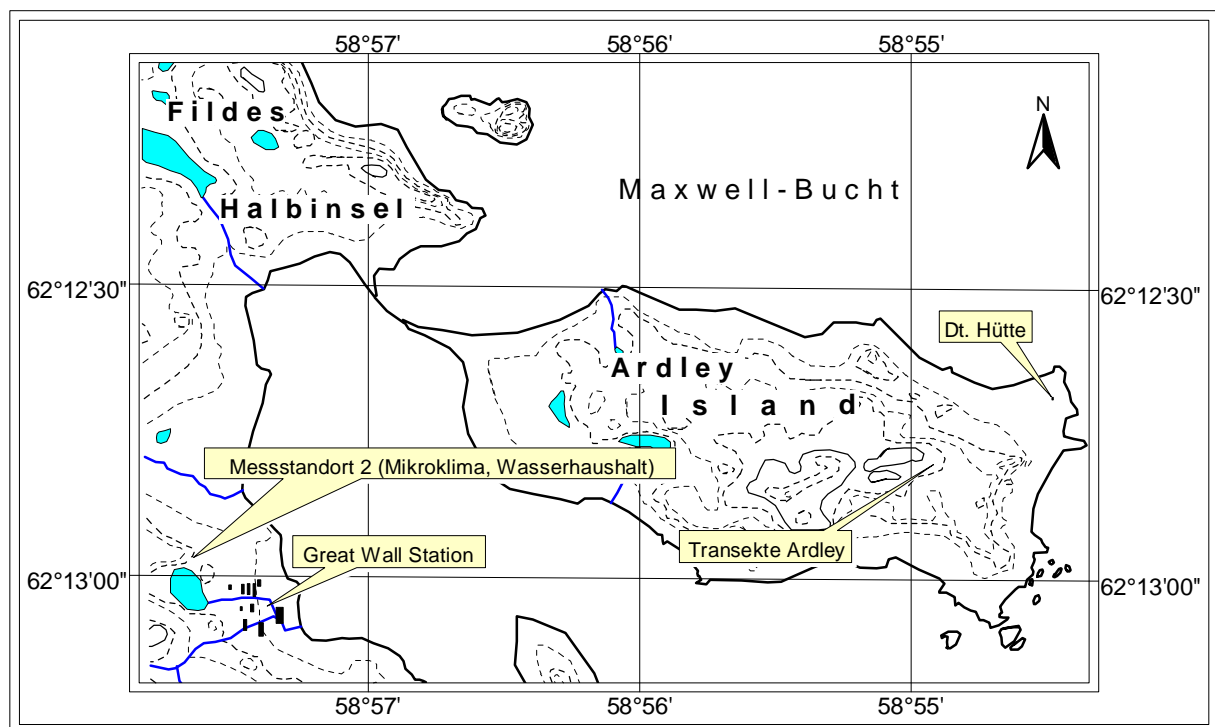
**Abb. 2.4:** Karte von der Fildes Halbinsel und Ardley Island mit der Lage der Untersuchungsflächen (1: Vegetationstransecte Ardley Island, 2: Mikroklima, Wasserhaushalt, 3: Ansiedlungsbeobachtungen, 4: Niederschlag, Ansiedlung, Mikroklima, Schnee)

Im südöstlichen Bereich der Halbinsel, ca. 100 m südlich vom Nebelbach (Abb. 2.4 Untersuchungsfläche Nr. 4, siehe auch BARSCH *et al.* 1985), wurde ein Dauerversuch zum Sammeln der Niederschläge angelegt. Im gleichen Bereich wurde eine Mikroklimastation zur Messung eng benachbart wachsender unterschiedlicher



Lebensformtypen und ein Transekt zur Verfolgung der Schneeschmelze installiert. Wassergehaltsbestimmungen von Moosen und Flechten, Messungen zu Wind-, Niederschlags- und Evaporationsbedingungen unterschiedlicher Standorte wurden ca. 1 km davon entfernt im Bereich einer ca. 100 m nordwestlich der chinesischen Station Great Wall gelegenen Hügelkuppe ausgeführt (Abb. 2.5, Abb. 2.4, Untersuchungsfläche Nr. 2).

Great Wall Station diente im Zeitraum November 1996 bis Ende März 1997 als logistische Basis für die Untersuchungen.



**Abb. 2.5:** Karte von Ardley Island und Great Wall Station mit der Lage der Vegetationstransekte auf Ardley Island und dem Messstandort in der Nähe von GW-Station. (digitalisiert nach chinesischer Topographischer Karte 1:10000 (1986), umgerechnet in transversale Mercatorprojektion, Höhenliniendifferenz: 10m)

#### 2.1.1.4 Ardley Island (Abb. 2.4, 2.5, 2.6)

Ardley Island ist über einen Isthmus mit der Fildes Halbinsel verbunden und liegt bzgl. der Hauptwindrichtung in Lee von King George Island. Bedingt durch die geringe Größe von nur ca. 1,7 km<sup>2</sup> ist das Gebiet unvergletschert. Die höchste Erhebung erreicht 84 m, die größte Fläche nehmen ehemalige Strandterrassen unterhalb von 40 m ein. An der Südostküste befindet sich eine Pinguinkolonie, in der Adélie-, Esels- und Zügelpinguine brüten. Verschiedene randliche Hügelkuppen wurden früher von der Kolonie genutzt, sind aber schon vor längerer Zeit aufgegeben worden. Bis auf den durch Pinguine direkt beeinflussten Bereich ist die Vegetation der

Insel vergleichsweise üppig. Aufgrund der üppigen Vegetation steht Ardley Island als SSSI (Site of Special Scientific Interest) unter Schutz.



**Abb. 2.6:** Blick von der Fildes-Halbinsel nach Osten auf Ardley Island. Die Lage der Untersuchungsflächen ist mit \* gekennzeichnet. Die „Deutsche Hütte“ liegt verdeckt in Richtung Barton-Halbinsel. Die chinesische Station „Great Wall“ liegt rechts außerhalb des Bildes.

In einer Entfernung von ca. 200 m zu den nächsten brütenden Pinguinen wurden auf einer flachen Hügelkuppe bzw. Hangschulter vier Vegetationstransekte gelegt. An der Basis dieser Hügelkuppe befand sich ein kleines Areal mit Polygonboden, wo ein weiteres Transekt gelegt wurde. Ein sechstes Transekt wurde 50 m entfernt auf der Kuppe eines benachbarten felsigen Hügels untersucht. Es wurden keine Anzeichen dafür gefunden, dass die beiden ausgewählten Bereiche vormals zu der Pinguinkolonie gehörten oder jetzt durch Pinguine beeinflusst waren.

Als logistische Basis diente im Januar 1996 die „Deutsche Hütte“ (inzwischen Chile übereignet) in der Pinguinkolonie auf Ardley Island. Eine offizielle Genehmigung für die Arbeit im SSSI lag vor.

### 2.1.2 Wetter

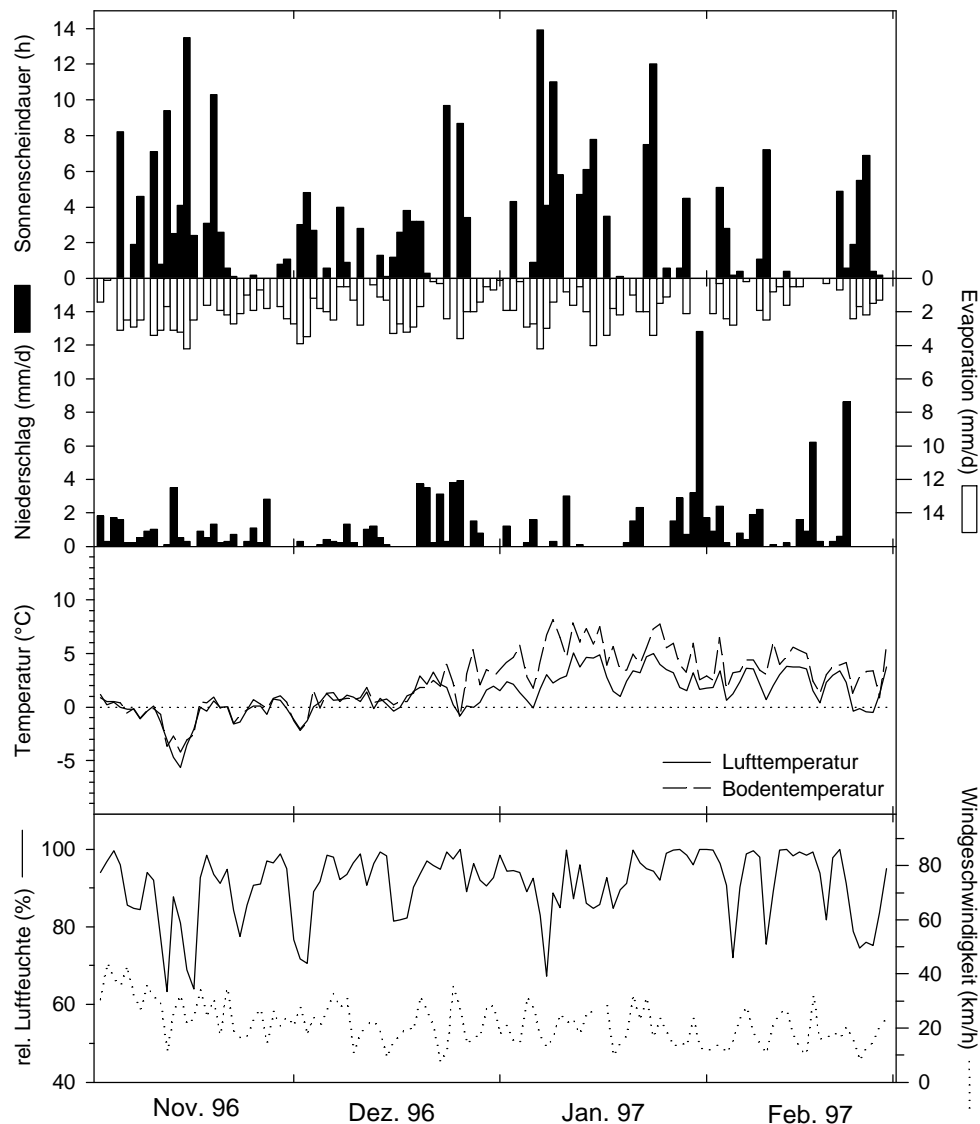
Klimatisch werden die South Shetland Islands zur maritimen Antarktis (HOLDGATE 1964) gerechnet. LONGTON (1988) bezeichnet das Klima als kalt-antarktisch. Im allgemeinen bedeutet dies:

- geringe Jahres- und Tagestemperaturamplituden
- 3-4 Monate mit einer Monatsmitteltemperatur über dem Gefrierpunkt
- Winter mit Minima von  $-20$  bis  $-30$  °C
- hohe Luftfeuchte (durchschnittlich  $>85\%$ )
- humide Sommer (Hauptniederschläge zwischen September und Mai)
- fortwährende Möglichkeit von Schneefall über das ganze Jahr
- hoher Bedeckungsgrad des Himmels ( $\varnothing$  8,6 Zehntel)
- hohe Nebelhäufigkeit
- hohe durchschnittliche Windgeschwindigkeit

Für den Zeitraum von 1985-1990 werden z.B. für die Great Wall Station folgende Daten angegeben: wärmste Monate von Dezember bis Februar mit Mitteltemperaturen von  $+1,0$  bis  $2,4$  °C, Jahresmitteltemperatur  $-2,24$  °C, absolutes Maximum  $+11,7$  °C, absolutes Minimum  $-26,6$  °C mit einem jährlichen Niederschlag von über 500 mm; Maximum bei 700 mm (HU 1998). Im Vergleich mit langjährigen Daten anderer Wetterstationen der South Shetland Islands (LINDSAY 1971) zeigte das Wetter keine ausdrücklichen Besonderheiten.

In Abb. 2.7 sind die Werte wichtiger Witterungsdaten für die Great Wall Station im Zeitraum von November 1996 bis Februar 1997 dargestellt (Quelle: chinesische Meteorologie, unveröffentlicht). Als durchschnittliche tägliche Sonnenscheindauer wurden 2,1 Stunden ermittelt. Der mittlere Niederschlag belief sich auf 0,91 mm/d bzw. summierte sich zu 108 mm im gesamten Zeitraum. Dem Niederschlag stand eine Evaporation von 1,51 mm/d gegenüber (=180 mm/gesamte Periode). Die sommerlichen Bedingungen waren also trotz des hohen Bedeckungsgrades des Himmels, hoher durchschnittlicher Luftfeuchte ( $\varnothing$  90,75 %) und zahlreichen Niederschlagsereignissen relativ trocken. Die Tagesmitteltemperaturen ( $\varnothing$  1,2 °C) erreichten im Maximum  $+5$  °C und  $-5,6$  °C im Minimum, wobei November und Dezember 1996 deutlich kälter als die beiden nachfolgenden Monate ausfielen. Nach der Ausaperung Mitte Dezember etablierten sich die Bodentemperaturen an der Oberfläche ( $\varnothing$  2,4 °C) oberhalb des Gefrierpunktes. Die Windgeschwindigkeit lag im Mittel bei 21,5 km/h, wobei der Wind hauptsächlich aus westlicher bis nördlicher

Richtung wehte. Spitzengeschwindigkeiten von bis zu 70 km/h dauerten in der Regel nur für wenige Stunden an. Der Wind erreichte in Böen aber noch deutlich höhere Geschwindigkeiten.



**Abb. 2.7:** Wetterbedingungen auf der Fildes Halbinsel November 1996 bis Februar 1997, gemessen von der chinesischen Wetterstation auf Great Wall

Trotz der relativen Nähe unterschieden sich die einzelnen Untersuchungsgebiete in bezug auf den konkreten Verlauf des Witterungsgeschehens erheblich. Dies wurde besonders 1996 deutlich, als die Potter Halbinsel schon Ende September weitgehend schneefrei wurde, während auf der Fildes Halbinsel und Ardley Island die Schneeschmelze noch nicht einmal eingesetzt hatte. Erst Mitte Dezember war auch die Fildes Halbinsel weitgehend schneefrei geworden.

## 2.2 Vegetationsuntersuchungen

Vegetationsuntersuchungen stellen den Bearbeiter in der Antarktis vor eine Reihe von Problemen, die in anderen Regionen nicht auftreten. Zum einen ist die Untersuchungszeit durch die limitierte Aufenthaltsdauer auf den Stationen begrenzt. Der Untersuchungszeitraum wurde zudem mehrmals aufgrund „logistischer Erfordernisse“ verkürzt. Zum anderen wird die Zeitplanung durch unkalkulierbare Witterungsbedingungen zusätzlich erschwert. Insbesondere Wind behindert die Feldarbeit erheblich, so dass meist eine Skibrille zum Schutz vor tränenden Augen getragen werden mußte, was Schwierigkeiten beim Erkennen von kleinen Arten (z.B. *Cephaloziella varians*) zur Folge hatte. Ein ebenfalls ernstzunehmendes Hindernis ist der Mangel an ausgereiften Florenwerken. Besonders für Krustenflechten sind diese z.Zt. noch nicht verfügbar. Bei Strauchflechten und Moosen konnten bis auf einige Gattungen sichere Identifikationen durchgeführt werden. Eine Zusammenstellung wichtiger taxonomischer Arbeiten zu Moosen- und Flechten findet sich in SANCHO *et al.* (1999). Für Moose ist inzwischen ein umfassend illustrierter Schlüssel erhältlich (OCHYRA 1998).

Primäres Ziel der Untersuchungen war es, Informationen über Strukturen der Vegetation zu gewinnen und diese später mit den Ergebnissen des experimentellen Teils der Arbeit zu verknüpfen, um so zu Aussagen z.B. über strukturgebende Prozesse zu erhalten. Dabei wurde das Augenmerk auf häufig auftretende Arten gelegt. Für unterschiedliche Teilfragestellungen wurde die Vegetation entlang von Transekten kontinuierlich analysiert.

### 2.2.1 Anlage der Transekte

Frequenz- und Strukturanalysen wurden entlang von 7 Transekten durchgeführt. Die Transekte wurden stets längs zur Hangneigung angelegt und liefen vom flechten-dominierten Kuppenbereich bis in den moosdominierten Hangfuß. Zur Ermittlung des Profils wurden die Neigung alle 10 cm mit einem handelsüblichen Neigungsmesser (1° Auflösung, 10 cm Anlegelänge) bestimmt. Für die Bestimmung der Ausrichtung wurde ein für die südliche Hemisphäre kompensierter Kompaß (BP 20, Recta, Schweiz) verwendet. Die Missweisung (4°) wurde einem Kartenblatt der britischen Admiralität entnommen.

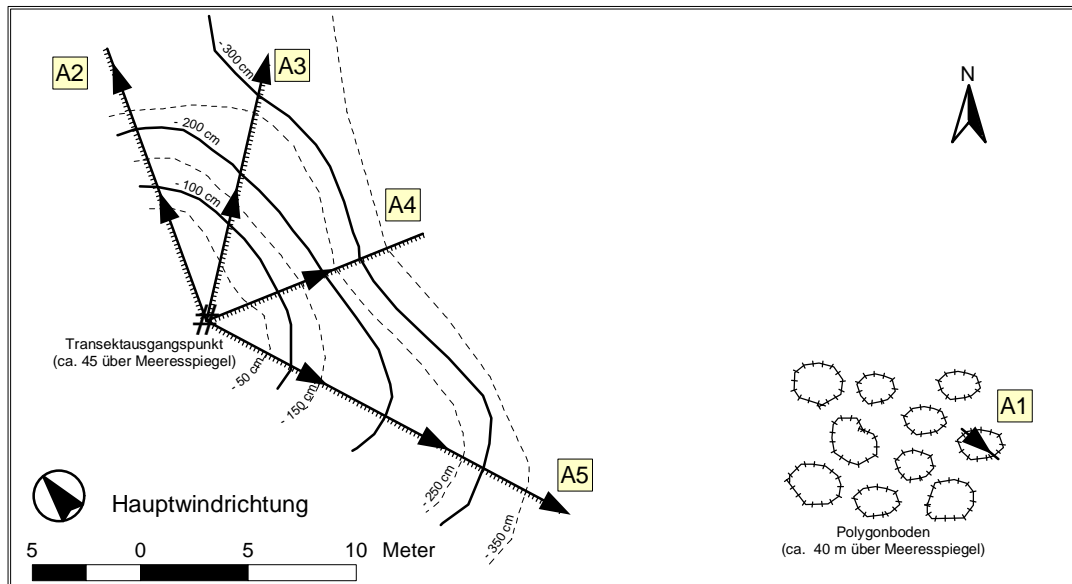
Die Bezeichnung der Transekte erfolgt durch einen Buchstaben als Gebietskennung (A=Ardley Island, F= Fildes Halbinsel, P= Potter Halbinsel) und eine Nummer. Tab 1. gibt Aufschluß über die angelegten Transekte und die dort jeweils durchgeführten Untersuchungen.

**Tab. 2.1:** Übersicht über die Transekte. FA= Frequenzanalysen, SA= Strukturanalysen, GV= Größenverteilung, SB= Schneebedeckung, L= Lichtmessungen im Raster

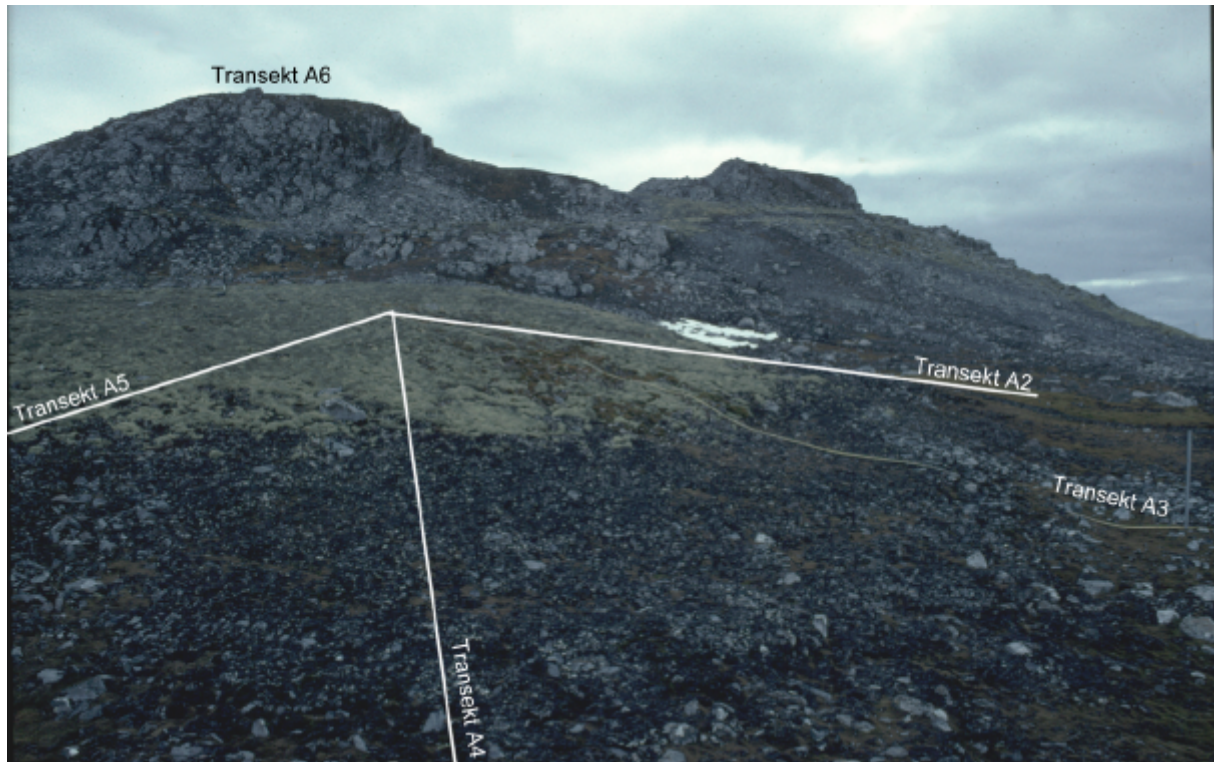
Kennun g	Ort	Länge	Ausrichtung	Höhe über NN (ca.)	Untersuchungen
A1	Ardley Island	2,2 m	130°	45 m	FA
A2	Ardley Island	13,4 m	340°	50 m	FA, L
A3	Ardley Island	12,2m	13°	50 m	FA, L
A4	Ardley Island	11,0 m	68°	50 m	FA, L
A5	Ardley Island	18,6 m	118°	50 m	FA, L
A6	Ardley Island	8,0 m	348°	70 m	FA, L
F1	Fildes H.	30,0 m	NO	40 m	SB
F2	Fildes H.	4,6 m	0°	40 m	GV
F3	Fildes H.	1,6 m	280°	45 m	GV
F4	Fildes H.	4,0 m	360°	40 m	GV
P1	Potter H.	12,0 m	184°	80 m	SA, L

Das Transekt A1 (Abb. 2.8) wurde angelegt, um auf einem Polygonboden den Einfluß des Mikroreliefs auf die Verteilung von Arten zu bestimmen. Transekte A2 bis A5 (Abb. 2.8 + 2.9) wurden von einem zentralen Punkt von einer Hügelkuppe in verschiedene Richtungen die Hänge heruntergeführt, um die Zonierung der Vegetation und deren Expositionsabhängigkeit zu untersuchen. Das sechste

Transekt (Abb. 2.9) auf Ardley Island wurde als Vergleich zu den Transekten A2-A5 ausgeführt. Es führte über eine besonders hohe Hügelkuppe. Bis auf Transekt A1 wurde bei den Transekten davon ausgegangen, dass sie entlang eines Schnee-Feuchtigkeitsgradienten verliefen.



**Abb. 2.8:** maßstäbliche Skizze der Lage der Transekte A1-A5 auf Ardley Island. Höhendifferenz der Höhenlinien: 50 cm, angegeben als Differenz zum höchsten Punkt der Transekte A2-A5



**Abb. 2.9:** Lage der Transekte A2-A6 auf Ardley Island



### 2.2.2 Frequenzanalysen

Zur generellen Charakterisierung der Vegetation wurden Frequenzanalysen erstellt. Diese hochauflösende Frequenzanalysen wurden der für die Antarktis üblicheren Abschätzung von Deckungsgraden (z.B. SMITH 1972, KAPPEN 1985b, WINKLER 2000) vorgezogen. Deckungsabschätzung wurde aus Gründen der Arbeitsökonomie verworfen, nicht zuletzt weil es bei ineinander verwobenen Moostepichen sehr schwierig ist, reproduzierbare Werte zu gewinnen. Hochauflösende Frequenzanalysen dürften ganz ähnliche Werte liefern wie Deckungsabschätzungen. So vertritt z.B. auch BATES (1974), dass sich gerade für Untersuchungen an Kryptogamen in unzugänglichen Gebieten Frequenzanalysen besonders anbieten. Eine weiterführende Diskussion zu den Vor- und Nachteilen beider Verfahren bieten z.B. REISIGL (1982) und GOLDSMITH *et al.* (1986).

Für die Aufnahmen wurde ein Rahmen von 20 x 20 cm verwendet, der von Nylonbändern in 2 cm Abstand unterteilt war. USHER (1983) kommt bei ähnlichen Pflanzengemeinschaften auf Signy Island (Antarktis) auf Mustergrößen von 0,2 und 1,2-2,0 m. Die kleineren Mustergrößen nehmen bei der gewählten Rastergröße also wenig Einfluß auf die Ergebnisse, während die Variationen im Meter-Bereich voll Eingang finden.

Bei 10x10 Rasterfeldern wurde in jedem Feld das sichtbare Vorkommen einer Art registriert, so dass die Auflösung 4 cm<sup>2</sup> bzw. 1% betrug. Die Beschränkung auf sichtbare Vorkommen wurde vorgenommen, da die Registrierung aller Vorkommen nur nach Zerstörung der Strauchflechtenschicht zu erreichen gewesen wäre. Später wird der Begriff „dominant“ anstelle von hochfrequent verwendet, wenn die Art hohe Frequenzen aufwies und gleichzeitig andere Arten auch kumuliert deutlich niedrigere Frequenzen aufwiesen.

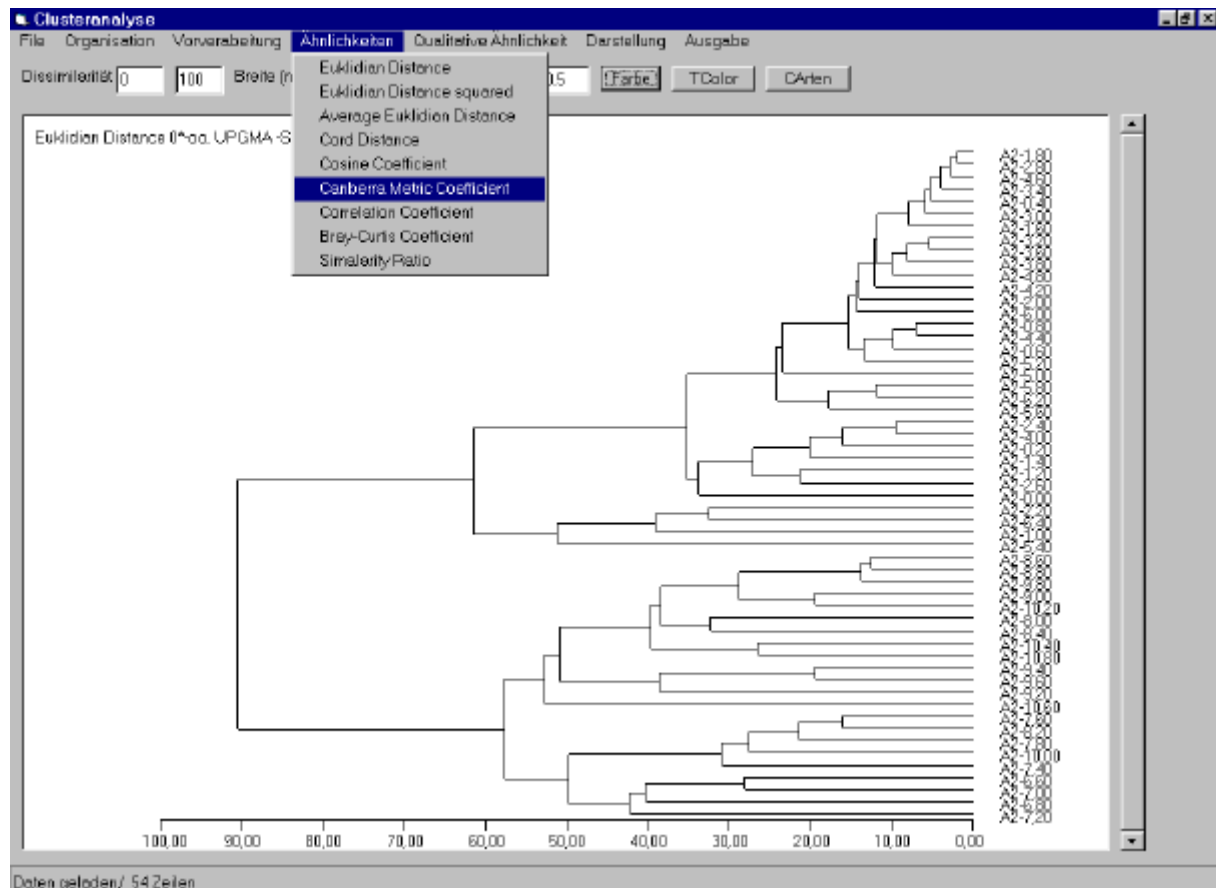
### 2.2.3 Clusteranalysen

Aufgrund von Schwierigkeiten mit der Zuordnung der Vegetationsaufnahmen zu Gesellschaften sollten mit Hilfe einer Clusteranalyse die subjektiven Einordnungen überprüft werden.

Für die Realisierung der Clusterung wurde in Visual Basic 4.0 (Microsoft, USA) ein Programm (Abb. 2.10) geschrieben. Das Programm errechnet – nach einer möglichen Normierung - verschiedene qualitative (Jaquard, Sörensen, Yule, Hamann u.a) und quantitative Indizes (Euklidische Distanz, Bray-Curtis, Canberra Metrik u.a.)



und stellt das Dendrogramm nach verschiedenen Linkage-Methoden (single, complete, unweighted pair group, weighted pair group) graphisch dar. Eine ausführliche Beschreibung von Formeln, Methoden und der Sensitivität der Indizes auf Werte, dominante Spezies und Artenvielfalt findet sich bei TONGEREN (1987).



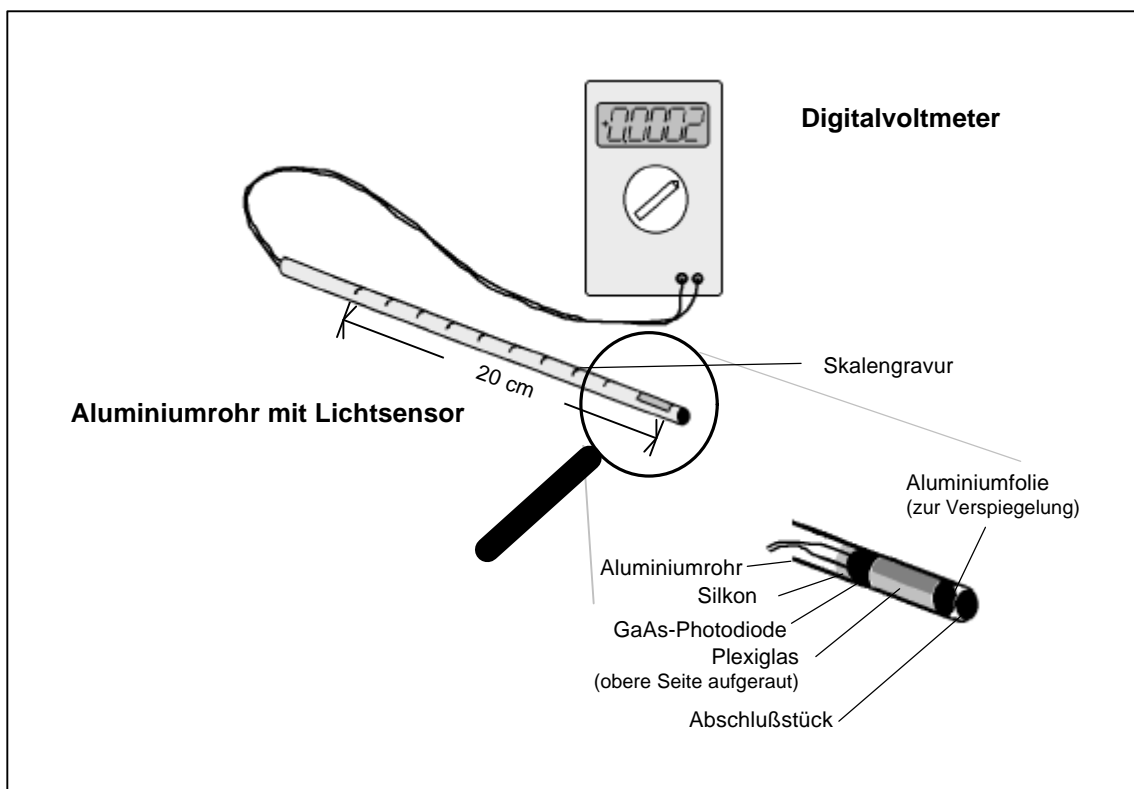
**Abb. 2.10:** Bildschirmdarstellung des Clusterprogrammes mit ausgeklapptem Menü der implementierten qualitativen Indizes und der Darstellung eines Dendrogrammes (Euklidische Distanz, unweighted pair group linkage) von Transekt A4 (A2 in der Darstellung bezieht sich auf anderslautende Feldnummerierung der Transekte).

Da es für die Auswertung von Frequenzanalysen keinen Standardindex gibt, sondern je nach der Datenlage sowohl der Index als auch die Linkage-Methode gewählt werden muß, wurden verschiedene Indizes getestet. Schließlich wurde die Euklidische Distanz als Index gewählt, weil dieser Index sowohl für die Frequenz, die Dominanz und für den Artenreichtum im Plot sensitiv ist. Die „unweighted pair group“-Methode wurde für die Darstellung gewählt, weil hiermit eine mäßige Neigung zu Treppenbildung bei der Ausgabe als Dendrogramm gewährleistet wurde.

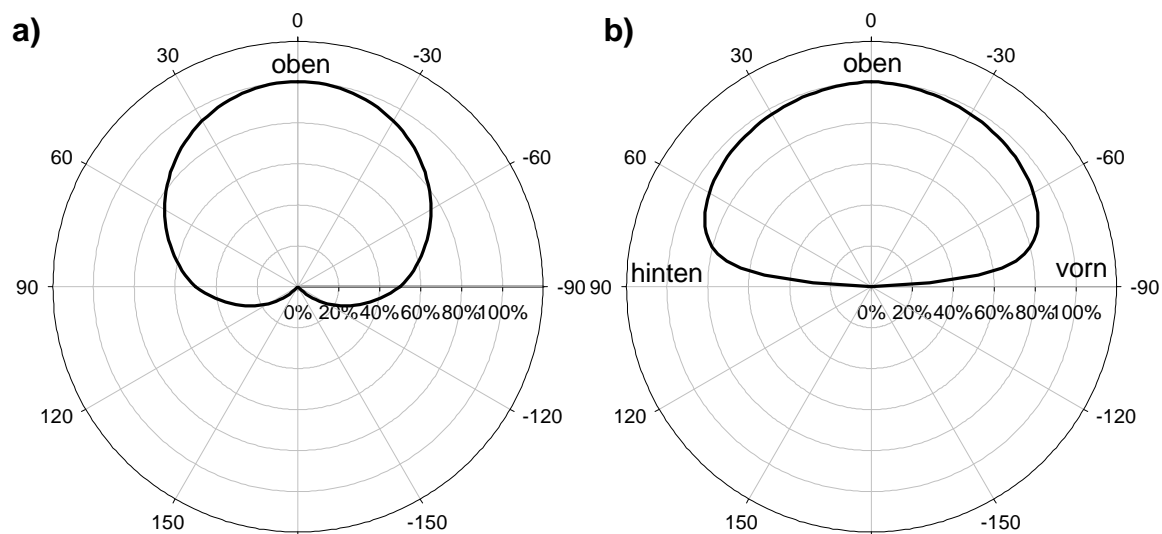
### 2.2.4 Strukturanalysen

Bei der Strukturanalyse wurde ebenfalls mit einem Vegetationsrahmen von 20x20 cm gearbeitet. Um die Lichtmessungen möglichst wenig zu beeinflussen wurde der Vegetationsrahmen jedoch aus 10 mm starkem Plexiglas gebaut. Alle Kanten wurden poliert um maximale Lichtdurchlässigkeit zu erreichen. Der Rahmen war mit dünnen Nylonfäden bespannt, um eine Unterteilung in 10x10 Rasterfelder zu erhalten.

Es wurden in jedem 2x2 cm großen Rasterfeld zusätzlich die Quadranten unterschieden, so dass die Auflösung 1 cm<sup>2</sup> betrug bzw. mit 400 Feldern gearbeitet wurde. Für jede Art wurden für jeden cm<sup>2</sup> folgende Kategorien unterschieden: dominant (sichtbar), vorkommend (sichtbar), vereinzelt (sichtbar), tot (sichtbar), vorkommend (verdeckt), tot (verdeckt) und Großreste. Bei den Großresten handelte es sich um Reste von Flechten und Moosen, die sich unterhalb einer geschlossenen Moosdecke befanden. In der Regel waren diese Reste leicht zersetzt. Die einzelnen Kategorien wurden farblich in ein vorbereitetes Formular eingetragen. Die Vegetation und der darunterliegende Torf wurde dabei mittels Taschenmesser, Pinzetten und Skalpell bis auf den mineralischen Grund sektioniert. Identifizierung der Arten, auch der Großreste, wurde mit einer 10x und 20x Handlupe im Feld durchgeführt.



**Abb. 2.11:** Lichtsensor für Messungen unterhalb der Strauchflechtenschicht. gesamter Sensor mit . Detailzeichnung Messkopf (Aluminiumrohr geöffnet dargestellt)

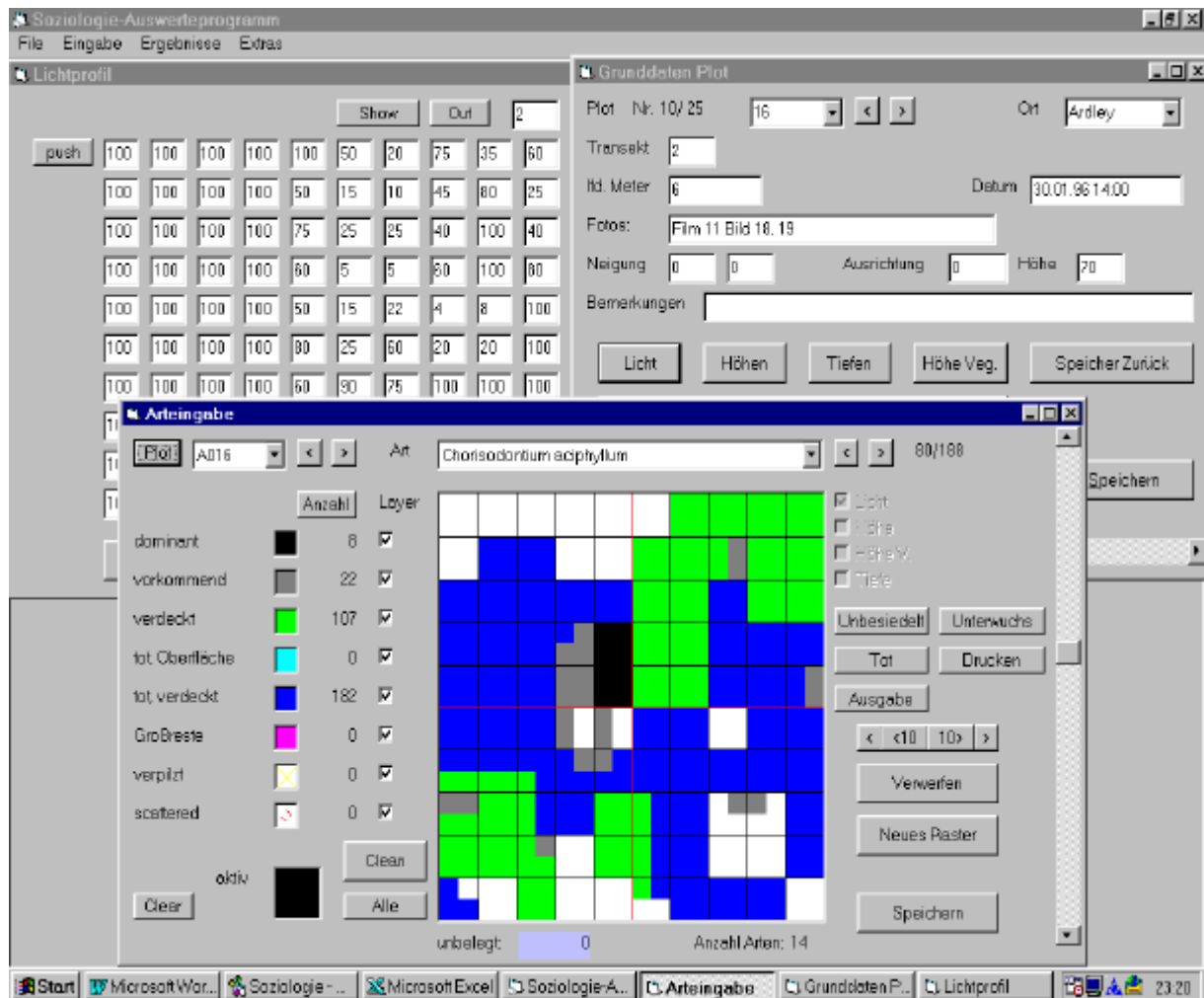


**Abb. 2.12:** errechnete Empfindlichkeitscharakteristik des Lichtsensors für Messungen unterhalb einer Strauchflechtenschicht. a) winkelabhängige Empfindlichkeit in radialer Richtung zur Hauptachse b) winkelabhängige Empfindlichkeit in Längsrichtung

Sofern eine dichte Strauchflechtenschicht vorhanden war, wurde vor ihrem Entfernen der relative Lichteinfall unterhalb dieser Schicht in einem 10x10 Raster (für je vier Rasterfelder =4 cm<sup>2</sup>) mittels eines selbst entworfenen und gebauten Lichtsensors gemessen (Abb. 2.11). Dieser wurde seitlich unter die Vegetation geschoben. Im wesentlichen handelte es sich um eine Gallium-Arsenid-Photodiode (Hamamatsu, Japan), der über einen 2 cm langen Plexiglasstab (Ø 6 mm) Licht zugeführt wurde. Die Photodiode war an der Stirnseite des Stabes angebracht. Um eine Diffusorwirkung zu erreichen, wurde dielichtsammelnde Oberfläche des Stabes mit einem feinem Schmirgelpapier (180ger) aufgeraut. Durch diesen Aufbau konnte Lichteinfall über 120 mm<sup>2</sup> integriert gemessen werden, was 30 % der Fläche eines Rasterfeldes vom Messraster entsprach. Die Abhängigkeit des Signals vom Einfallswinkel des Lichtes wurde für die Längs- (Abb. 2.12a) und Querrichtung (Abb. 2.12b) aus den Daten der Sensorgeometrie errechnet.

Zur mechanischen Stabilisierung wurden Sensor und Plexiglasstab in einem 20 cm langen Aluminiumrohr (Außendurchmesser 8 mm, Wandstärke 1 mm) untergebracht. Der Lichteinfall wurde durch Aussägen eines halbkreisförmigen, 2 cm langen Segmentes aus dem Aluminiumrohr gewährleistet. Eingravierte Markierungen am Rohr stellten eine exakte Kontrolle der Position im Raster und die korrekte Ausrichtung nach oben sicher. Über ein 4½stelliges hochgenaues Voltmeter mit einer Auflösung von 0,01 mV (Votcraft, Deutschland) wurde das Signal gemessen

und dann mit dem zuvor mit demselben Sensor im normalen Umgebungslicht gemessenen verglichen. Bei guten Lichtverhältnissen wurde damit eine Auflösung von 0,1 % des relativen Lichtgenusses erreicht, während diese bei bedecktem Himmel oder bei niedrigem Sonnenstand nur 1 % betrug.



**Abb. 2.13:** Eingabemaschinen für das Auswerteprogramm der Strukturanalysen („Lichtprofil“ zur Eingabe der Lichtabschwächung, „Grunddaten Plot“ zur Erfassung der Grunddaten eines Plots und „Arteingabe“ zur Erfassung der Verteilungsmuster einzelner Arten)

Für Messungen der Mikroreliefs bzw. der Höhe der Vegetation wurde eine handelsübliche Schiebelehre aus Plastik verwendet. Die Ausführung in Plastik bot den Vorteil, dass sie auch in der Kälte gut handhabbar ist. Die Sondenspitze wurde möglichst sanft auf die Oberflächen aufgesetzt; bei Strauchflechten wurde sie bis zu den stärkeren Thallusästen abgesenkt, um dann die Differenz zu einem nivellierten Vegetationsrahmen zu messen. Die Genauigkeit dieses Verfahrens liegt zwischen ca. 2 mm für glatte Oberflächen und ca. 5 mm bei Strauchflechten.

Für die Auswertung der Formulare wurde in Visual Basic 4.0 (Microsoft, USA) ein Programm entwickelt (Abb. 2.13). Auf das vom Programm generierte Raster konnten,

über die Maus gesteuert, die Verteilungsmuster übertragen werden. Dazu konnten alle im Zusammenhang mit den Plots erhobenen Daten in Bildschirmformulare eingegeben, gespeichert und teilweise visualisiert werden. Außerdem wurden verschiedene Auswertungen in das Programm implementiert. Dies waren im wesentlichen:

- Auszählen aller sichtbaren Arten zur Ermittlung von Frequenzen wie bei den Frequenzanalysen
- Auszählen aller Arten in den erfaßten Kategorien (dominant, vorkommend, tot etc.)
- Erstellung von Kreuztabellen der Häufigkeit des gemeinsamen Vorkommens von Spezies A mit Spezies B und umgekehrt
- Ermittlung der durchschnittlichen Anzahl fremder Arten für jedes von einer bestimmten Art besiedelten Rasterfeld
- Ermittlung der durchschnittlichen Anzahl von umgebenden Rasterfeldern in denen dieselbe Art vorkommt wie im Ausgangsrasterfeld
- Ermittlung der durchschnittlichen Anzahl an weiteren Arten, die in den 8 umgebenden Rasterfeldern auftreten
- Berechnung des durchschnittlichen Lichteinfalls für lebende und tote Bereiche von durch Strauchflechten abgeschattete Arten
- Berechnung des Grades der Abschattung durch eine Strauchflechte
- Berechnung der Lichtverhältnisse in unbesiedelten Bereichen unter Strauchflechten
- Darstellung von Isoliniendiagrammen von Lichtniveaus

### 2.2.5 Größenverteilung von Strauchflechten

Zielsetzung dieser Versuche war es, Informationen zur Altersstruktur in Abhängigkeit von der Substratstruktur zu gewinnen. Dafür wurden auf der Fildes Halbinsel drei Transekte mit einem unterschiedlichen Verteilungsmuster der Strauchflechten untersucht (vgl. Tab 2.1; F2-F4):

1. Die Flanke einer Kuppe mit vereinzelt Flechtenbeständen im unteren, deutlich kryoturbaten Teil. Im oberen Teil fand sich eine fast geschlossene Flechtenvegetation mit niederliegenden Formen von *Usnea aurantiaco-atra*. Besonders im basalen Teil bestand der Untergrund zum Teil aus Schluff und Ton. An der Oberfläche fanden sich hauptsächlich Steine von 1 – 5 cm Größe (Transekt F2).

2. Die Flanke einer Kuppe, an der zahlreiche kleine Thalli von *Usnea aurantiaco-atra* vorkamen. Der Untergrund bestand ausschließlich aus Steinen von 1-5 cm Größe; eine feine Fraktion fehlte vollständig. Kryoturbation war nicht offensichtlich (Transekt F3).
3. Vereinzelte, große Thalli auf einem schwach geneigten Hang mit Grus und wenigen eingestreuten größeren Steinen. Kryoturbation war nicht erkennbar. Vorherrschende Korngrößen lagen bei ca. 2 mm (Transekt F4).

In den Transekten wurden auf einer Breite von 1 m die Koordinaten aller Strauchflechten mittels Maßbändern und handelsüblichem Zollstock erfaßt (Auflösung 1 cm) und anschließend die Zahl der Apothezien bestimmt. Mittels einer Plastikschieblehre wurden Höhe, Breite und Tiefe von jedem Thallus bestimmt. Die Thallushöhe wurde senkrecht zu Festheftungspunkt gemessen. Bei losen Thalli wurde die Bodenoberfläche als Bezug verwendet. Wenn vorhanden, wurde vom Stein, an dem die Flechte festgeheftet war, ebenfalls die Größe bestimmt. Für die Charakterisierung des Substrates wurden alle 10 cm im Transektverlauf die Größenverteilung der oberflächlichen Substratpartikel derart ermittelt, dass entlang eines Zollstockes auf 1 m Breite für jeden cm das Substrat unmittelbar vor der Zollstockkante klassifiziert wurde.

Die Bestimmung der Arten wurde mit einer Handlupe im Feld durchgeführt. Bei juvenilen Stadien von *Usnea* ließ sich nicht mit Sicherheit zwischen *U. aurantiaco-atra* und *U. antarctica* unterscheiden. Da in den drei Transekten ausgewachsene Exemplare von *U. antarctica* nicht vorkamen, wurde bei allen Jugendstadien angenommen, dass es sich um *U. aurantiaco-atra* handelt. Kleinste erkennbare Thallusgrößen lagen bei ca. 2 mm Höhe.

Für die Erfassung und Auswertung der Daten wurde ein eigenes Programm in Quick Basic (Microsoft, USA) entwickelt. Während der Expedition konnten so die erfaßten Daten sofort visualisiert werden. Für die endgültige Darstellung in Sigma-Plot 4.0 (SPSS, USA) lieferte das Programm die berechneten Symbole für die Flechten in ihrer Größenausdehnung und ihrem Fruchtstatus. Ebenso wurden die Statistiken über Größenverteilung, Fruchterfolg und die Korrelation zwischen der Größe des Trägergesteines und der Thallusgröße über das selbst entwickelte Programm errechnet.

## 2.3 Mikroklima

Die Messungen des Mikroklimas wurden in den Sommern 93/94, 94/95 und 95/96 in Jubany und im Frühjahr/Sommer 96/97 auf der Fildes Halbinsel bei der Great Wall Station ausgeführt.

### 2.3.1 Licht, Temperatur und Luftfeuchte

Für **Temperaturmessungen** wurden drei Typen von Sensoren eingesetzt:

- Mikrothermistoren
- Minithermistoren
- Thermoelemente

Hauptsächlich wurden gekapselte Mini- und Mikrothermistoren (Grant, UK) verwendet. Um direkte Strahlungseffekte zu vermeiden, wurden die Spitzen der Sensoren dabei so in den Thallus eingeführt, dass der schwarze Messkopf gerade nicht mehr zu sehen war. Für die Messung der Lufttemperatur wurden die Sonden zum Strahlungsschutz locker mit starker Aluminiumfolie umwickelt. Beide Sensortypen hatten sich bereits unter antarktischen Bedingungen bewährt (z.B. SCHROETER 1991) und liefern auch bei Dauerfeuchte stabile Werte.

Für Messungen unterhalb einer Strauchflechtenschicht wurde der Sensorkopf von der Seite mehrere cm unter die Flechten geschoben. Bei Kontakt mit einem Widerstand wurde die Sensor ein kurzes Stück zurückgezogen und dort belassen.

Für Lichtmessungen wurden im allgemeinen PPFD-Sensoren aus eigener Herstellung verwendet (PONTAILLER 1990), die sehr ähnliche Resultate liefern wie die Standard PPFD-Sensoren der Firma Licor (LI-190SB, Licor, USA), ihnen jedoch *in puncto* Wasserdichtigkeit deutlich überlegen sind. Die Kalibrierung erfolgte im Labor mittels einer Standardlichtquelle „Optical Radiation Calibrator 1800-02“ (Licor, USA). Für feinere Messungen wurden Gallium-Arsenid-Photodioden ohne Diffusorscheiben und Gehäuse verwendet, die eine PAR-ähnliche Empfindlichkeitscharakteristik aufweisen. Aufgrund mangelnder Kosinuskorrektur liefern sie bei flachem Sonnenstand niedrigere Werte als Standardsensoren.

Für die **Lichtmessungen** unter Strauchflechten wurden die Flechten vorsichtig „hochgeklappt“ oder beiseite geschoben und, einige Steine aus dem Untergrund entfernt und der Lichtsensor mit Öffnung in Höhe der Substratoberfläche positioniert. Dann wurden die Flechten wieder in ihre vorherige Lage zurückgedrückt.

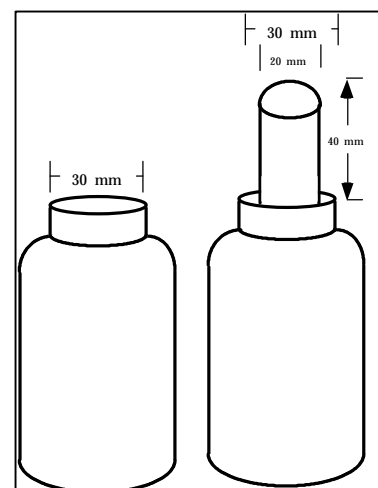
Messungen der **relativen Luftfeuchte** wurden mit kapazitiven Feuchtfühlern HMP 35A (Vaisala, Finnland) durchgeführt. Zum Einsatz für Messungen innerhalb von Flechtenbeständen war der mit einem Sinterfilter geschützte Messkopf von der eigentlichen Messschaltung getrennt. Der Messkopf wurde für die Messungen direkt in die Flechtenbestände eingeführt. Eine zweite Variante, mit einem durch Membranfilter geschützten Messkopf und im gleichen Gehäuse zusammengefaßten Messschaltung, wurde hauptsächlich für Referenzmessungen verwendet.

Alle Kabel wurden mit handelsüblichen Zeltringen am Boden befestigt. Im Januar und Februar mußten die Kabel in die Vegetation eingegraben werden, da die Skuaküken dann flügte wurden und die Sensoren wie Kabel deplazierten und beschädigten.

### 2.3.2 Niederschlag und Evaporation

Für die Niederschlagsuntersuchungen wurden kleine, kostengünstige Sammler gesucht, deren Öffnung problemlos in Höhe der Vegetationsoberfläche zu installieren ist. Da Standardgeräte für solchen Zweck nicht verfügbar sind, wurden 250 ml PE-Weithalsflaschen (Öffnungsdurchmesser 3 cm, Abb. 2.14 und 2.15) verwendet, die ähnliche Ergebnisse wie z.B. Hellmann-Regenmesser liefern dürften (VITON 1970). Aus den jetzt gewonnenen Erfahrungen läßt sich sagen, dass die Sammelergebnisse bei Wind deutlich über dem Wert der meteorologischen Station von Great Wall Station lagen. Aufgrund der Flaschenform und des damit veränderten Windfeldes wäre ein umgekehrter Effekt zu erwarten gewesen (siehe CERNUSKA 1982, HÄCKEL 1999). Da es bei den Niederschlagsmessungen hauptsächlich um einen Vergleich der Standorte untereinander ging, wurden diese Abweichungen in Kauf genommen. Bei Schnee lieferte der Versuchsaufbau nur sehr ungenaue Werte, da einerseits durch die Installation in Höhe der Bodenoberfläche Driftschnee mitgesammelt wurde, andererseits die Öffnungen bei viel Schnee verklebten, so dass die Messergebnisse zu gering ausfielen.

Da in der maritimen Antarktis häufig Sprühregen in Verbindung mit starken Winden auftritt, dürfte es an



**Abb. 2.14:** Schemazeichnung der verwendeten Niederschlags-sammler. Rechts mit Stab zum Einfangen horizontalen Niederschlags. Oberes Stabende war abgerundet.



senkrechten Flächen und Gegenständen (wie z.B. Strauchflechten) zu einem erheblichen Niederschlag kommen, der über Sammler mit einer horizontalen Öffnung nicht quantifiziert werden kann. HÄCKEL (1999) gibt für Sprühregen eine Tröpfchengröße von 0,05 bis 0,25 mm und eine Fallgeschwindigkeit vom 0,25 bis 2 m/s an. Bei einer durchschnittlichen Windgeschwindigkeit von 6 m/s (= 21,5 km/h vgl. 2.1.2) wäre also mit maximal 3 bis 24 mal höheren Niederschlagseinträgen zu rechnen. Für die grobe Quantifizierung des Niederschlageinfanges von Strauchflechten wurden vier PE-Flaschen mit einem PE-Stab bestückt (Durchmesser 2 cm), der 4 cm über die Öffnung herausragte. Beobachtungen zeigten, dass bei Regen das Wasser trotz Anlehnungspunktes und möglichen Starkwindes weitgehend in die Flasche abläuft. In einem Vorversuch wurde geklärt, dass Netze, die einem verzweigten Thallus am ehesten entsprechen würden, einen Ablauf des Wassers in das Sammelgefäß nicht gewährleisten konnten.



**Abb. 2.15:** Sammelflaschen zum Erfassen des Niederschlages an Standort 4 (*Himantormia lugubris* (HI) und *Usnea aurantiaco-atra* (Uaa) gemischt), hinterer Sammler mit Stab ausgerüstet.

Die Umrechnung des gesammelten Wassers auf mm Niederschlag erfolgte mit folgender Formel (1):

$$N_s = \frac{V \cdot 10}{r^2 \rho} \left[ \frac{l}{m^2} = mm \right] \quad (1)$$

dabei ist:

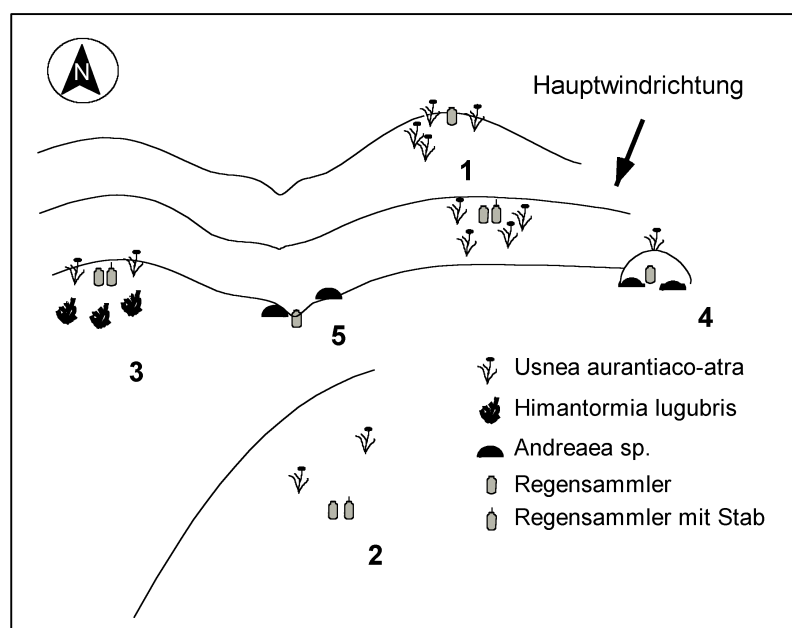
$N_s$  = Niederschlag in mm (entspricht  $l/m^2$ ).

$V$  = Wasservolumen in  $cm^3$

$r$  = Radius des Flaschenhalses der Sammler

Diese Formel fand auch für die mit Stab ausgerüsteten Sammler Anwendung. Die durch Wägung bestimmte Wassermenge wurde mit  $1g/cm^3$  gerechnet. Die maximale Empfindlichkeit lag aufgrund der Verwendung einer hochgenauen Waage (Auflösung 0,1 mg, Wägebereich 310g, BP310, Sartorius, Deutschland) bei unter 0,001 mm pro Sammelintervall. Entscheidend für die erzielte Genauigkeit ist die Zeit, die zwischen Niederschlag und Wägung vergeht. Hierdurch entstanden Fehler von maximal 0,04 mm/h (siehe Abs. 3.2.5.2).

Während einer fünfmonatigen Periode wurden die Niederschläge an sechs Standorten auf der Fildes Halbinsel (siehe Abb. 2.2, Nr. 4) täglich bestimmt. Der Versuchsaufbau ist schematisch in Abb. 2.16 wiedergegeben; in Tabelle 2.2 sind die

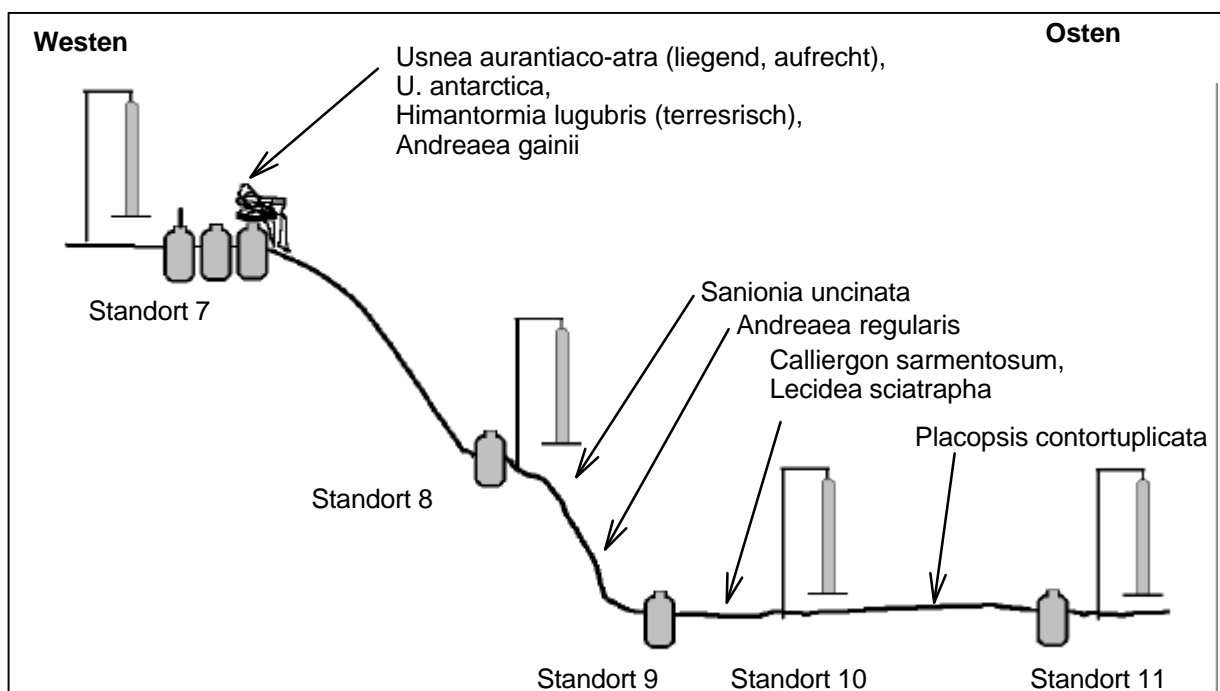


**Abb. 2.16:** Schema der ausgewählten Standorte auf der Fildes Halbinsel (King George Island) zur Messung der Niederschläge. Die Nummern geben die im Text verwendeten Standortnummern an. Nördlich des oberen Sammlers von Standort 1 befand sich ein 2 m hoher Steilabfall.

unterschiedlichen Charakteristika der Messstandorte aufgelistet. Grundhypothese war, dass sich an geschützteren und feuchteren Standorten (5 + 6) mehr Niederschläge sammeln ließen, während bei den Sammlern für horizontalen Niederschlag die höchsten Erträge an Standort 3 erwartet wurden.

**Tab. 2.2:** Standortliste der aufgestellten Niederschlagssammler mit wesentlichen Charakteristika der Standorte

Standort	Anzahl/Art der Sammler	Standortcharakteristik
1	1 Sammler	<i>Usnea aurantiaco-atra</i> dominiert, Kuppe
1a	1 Sammler + 1 Sammler mit Stab	<i>Usnea aurantiaco-atra</i> dominiert, ebene Fläche
2	1 Sammler + 1 Sammler mit Stab	freie Sandfläche, <i>Usnea aurantiaco-atra</i> nur auf größeren Steinen vorkommend
3	1 Sammler + 1 Sammler mit Stab	<i>Usnea aurantiaco-atra</i> und <i>Himantormia lugubris</i> gemeinsam vorkommend (Abb. 2.8)
4	1 Sammler	<i>Andreaea gainii</i> und <i>Polytrichum alpinum</i> in einer Mulde vor einem größeren Stein
5	1 Sammler	in Polygondpression, Steine bis 5 cm, <i>Andreaea regularis</i>

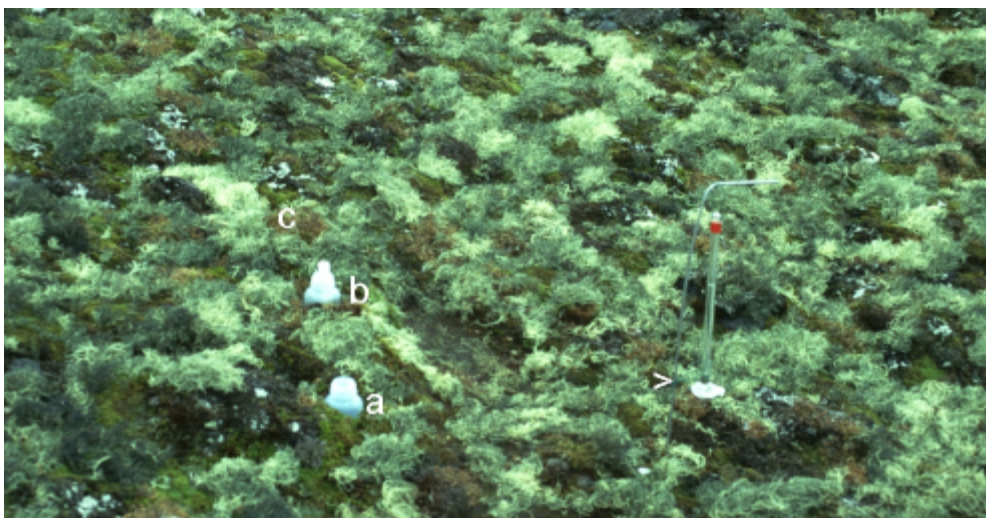


**Abb. 2.17:** Schematische Übersicht über die Lage der Standorte bei dem Versuchsaufbau zu Niederschlag und Evaporation. Die Moos- und Flechtenamen geben die Standorte wieder, von denen die Proben für die Wassergehaltsmessungen stammen und wo sie während des Versuches deponiert wurden (vgl. Abschnitt 2.4)

Für die Messung wurden die Flaschen ausgetauscht, zugeschraubt, von außen getrocknet, auf einer elektronischen Analysenwaage (Auflösung 0,1 mg; Ma Ling, China) im Labor gewogen, innen getrocknet und erneut gewogen. Bei den PE-Stäben wurde vor dem Austausch das anhaftende Wasser mit einer halbkreisförmigen Gummilippe in die Flasche abgestreift.

Zur zusätzlichen Messung der Evaporation (Abb. 2.17 und 2.18) wurden während einer zweimonatigen Periode insgesamt sechs weitere Flaschen ausgebracht, die zu Anfang mit jeweils 50 ml Wasser gefüllt waren. Da der Versuch in engem zeitlichen Raster betreut werden mußte, wurde dieser auf einer Hügelkuppe nahe der chinesischen Station aufgebaut.

Zur Messung wurden die Sammler nach Trocknung und Reinigung der Außenseite mittels Geschirrtuchs und Küchenpapiers auf einer in einer Aluminiumkiste stationierten, batteriebetriebenen Analysenwaage (Auflösung 0,1 mg, Wägebereich 310g, BP310, Sartorius, Deutschland) im Feld gewogen und sofort wieder plaziert. Abhängig von der Witterung lag der Messturnus hier in der Regel zwischen 1 1/2 und 4 Stunden.



**Abb. 2.18:** Positionierung der Niederschlags/Evaporationsmessungen auf der Kuppe bei Great Wall Station. **a:** Flasche ohne Stab, **b:** Flasche mit Stab, **c:** Position der durch Strauchflechten verdeckten Flasche. Rechts mit > gekennzeichnet hängt das Piché-Evaporimeter

Beide verwendete Waagen wurden gegeneinander abgeglichen.

Im gleichen Turnus wie die vorgenannten Messungen wurden an vier Standorten installierte Piché-Evaporimeter (Abb. 2.17) abgelesen. Die Filterscheiben ( $\varnothing$  5 cm) befanden sich vier bis fünf cm über der Bodenoberfläche. Um windbedingtes Pendeln zu vermeiden, mußten die Evaporimeter zusätzlich mit Draht stabilisiert werden.

### 2.3.3 Wind

Windmessungen wurden im Zusammenhang mit den Evaporationsmessungen durchgeführt. Parallel zur Ablesung der Piché-Evaporimeter wurden Windmessungen mit einem Miniatur-Flügelradanemometer (WTW, D) durchgeführt. In Höhe der Vegetationsoberfläche wurde in jeweils 30 Sekunden die mittlere Windgeschwindigkeit gemessen. Diese Messdauer stellt einen Kompromiß zwischen den Anforderungen des übrigen Messprogrammes und der Böigkeit des Windes dar. Aufgrund fehlender Anlaufkompensation wurden Windgeschwindigkeiten unter 0,4 m/s als Windstille gemessen. Bis ca. 0,8 m/s mittlerer Windgeschwindigkeit unterschätzt der Messwert die reale Windgeschwindigkeit, da Böen in der Regel häufig eine Verdoppelung der Windgeschwindigkeit bedeuten.

Für kontinuierliche automatische Windmessungen wurden die Impulse eines Flügelradanemometers (Vector Instruments, England) von einem Logger (vgl. 2.3.4) registriert. Da alle Impulse des Anemometers während eines Messintervalles gezählt wurden, wurde damit die gesamte vorbeigestrichene Luftmenge während des Messintervalles ermittelt. Das Flügelrad befand sich aus technischen Gründen ca. 50 cm über der Bodenoberfläche.

### 2.3.4 Datenaufzeichnung und Verarbeitung

Für automatische Messungen und die Aufzeichnung der Signale von Temperatur, Licht, Luftfeuchte und Wind wurden Data-Logger „Squirrel“ Modelle 1201, 1203 und 1259 mit 12 Bit Auflösung eingesetzt (Squirrel, Grant, UK). Die Logger wurden während der Messungen in wetterfesten Kunststoffboxen (Klöckner-Möller, D) untergebracht.

Das Messintervall der automatischen Aufzeichnung wurde zwischen 5 und 15 Minuten gewählt. Die Daten wurden über Laptop-Computer in wöchentlichem Turnus im Feld ausgelesen und auf Diskette gespeichert. Aus dem binären Übertragungsformat wurden die Dateien mittels eines Konvertierungsprogrammes (Sqtrans, Grant, UK) in ASCII-Textformat umgewandelt.

Bei Temperatur und Luftfeuchte sind werkseitig Kalibrierungsfaktoren im Logger gespeichert anhand derer der Logger die Messgrößen automatisch in korrekte Temperatur- und Luftfeuchtwerte umrechnet. Für die Lichtsensoren und das Anemometer mußten vor der weiteren Verarbeitung die Werte mit den Kalibrierungsfaktoren multipliziert werden.



Über ein eigenes in Quick-Basic (Microsoft, USA) realisiertes Programm wurden die in Textdateien übersetzten Loggerfiles weiterverarbeitet. Dieses Programm übersetzt englische Datums- und Zeitformate in das deutsche Format und berechnet anhand der von Hand einzugebenden Kalibrierungsfaktoren die Messgrößen. Außerdem bestimmt es Tagesmittelwerte, -minima und -maxima und kann bei längeren Zeitreihen die Bildung von Mittelwerten über beliebige Zeitintervalle durchführen. Das Programm wurde besonders in Hinblick auf die Bearbeitung langer Zeitreihen optimiert und wurde dafür – leider unerwähnt – schon mehrfach erfolgreich eingesetzt (z.B. SCHROETER *et al.* 1997, WINKLER 2000, SCHULZ & SCHROETER 2000). Weitere Berechnungen und die graphische Aufbereitung erfolgte in Sigma-Plot für Windows 4.0 (SPSS, USA).

Für die kartographischen Darstellungen wurden die vorhandenen Kartengrundlagen gescannt und georeferenziert. Von Hand wurden die Bilder unter Arcview 3.2 (Esri, USA) vektorisiert, neu projiziert und kartographisch bearbeitet.

## 2.4 Wassergehaltsmessungen an Flechten und Moosen

Wassergehaltsmessungen an Moosen und Flechten wurden im Sommer 96/97 auf einer Hügelkuppe auf der Fildes Halbinsel nahe der chinesischen Station Great Wall durchgeführt (Schema Abb. 2.15). Dazu wurden individuelle Thalli von drei Strauchflechten (*Usnea aurantiaco-atra*, *U. antarctica* und *Himantormia lugubris*), zwei Krustenflechten (*Placopsis contortuplicata* und *Lecidea sciatrapha*), zwei teppichformende Moosarten (*Sanionia uncinata* und *Calliergon sarmentosum*) sowie die beiden polsterförmigen Moose *Andreaea gainii* und *A. regularis* über einen Zeitraum von 6 Wochen in witterungsabhängigen Zeitabständen gewogen. Die ausgewählten Thalli wurden mit einem eventuell vorhandenem Stein (bei aufrechten Strauchflechten, Krustenflechten und *A. regularis*) gemessen. *A. gainii* wurde in einem Körbchen aus Nylongitter aufbewahrt. Zur mechanischen Fixierung wurde *Himantormia lugubris* und die liegende Form von *Usnea aurantiaco-atra* locker mit Silberdraht umwickelt und über eine Öse an einem Edelstahlstab im Boden befestigt. Für die Gewichtsbestimmungen wurde wieder die in einer Aluminiumkiste stationierte, batteriebetriebene Analysenwaage (Auflösung 0,1 mg, Wägebereich 310g, BP310, Sartorius, D) verwendet. Beim Transport vom Standort zur Waage und zurück wurde darauf geachtet, dass möglichst kein anhaftendes Wasser abgeschüttelt wurde. Neben dem Gewicht wurde auch vorhandene Wasserfilme, Tropfen etc. notiert. Der Turnus war gekoppelt mit den Messungen zu Niederschlag und Evaporation (vgl. 2.3.2).

Nach Abschluß der Feldarbeiten wurden von den Thalli im Labor die Umrissse auf Papier festgehalten, dann wurde sie 24 h bei 105 °C getrocknet und erneut gewogen. Danach wurden die Thalli vom Stein gelöst und von beiden Teilen einzeln das Gewicht bestimmt. Bei den beiden Krustenflechten wurden mit einer motorisch betriebenen Stahlbürste (Proxxon, Deutschland) die Thalli vom Stein entfernt. Das Thallusgewicht wurde aus der Gewichts Differenz zwischen dem bewachsenen und unbewachsenen Stein errechnet.

Die Umrissse der Thalli wurden auf weißes Papier übertragen und mit schwarzer Tusche nachgezeichnet. Anschließend wurden die Umrissse eingescannt und über ein Computerprogramm (Canvas 3.5, Deneba, USA) die Fläche bestimmt.

### 3 Ergebnisse

Zum besseren Verständnis aller nachfolgenden Untersuchungen von Vegetation und Mikroklima wurden die wichtigsten Flechten und Moose (Tab. 3.1) mit einigen Eigenschaften tabellarisch zusammengestellt. Jede dieser Arten trat in den Vegetationsuntersuchungen häufig oder gelegentlich auf. Blattflechten waren im gesamten Untersuchungsgebiet auf King George Island derartig selten, dass sie, obwohl gewünscht, nicht mit einbezogen werden konnten. Entsprechend der Auswahl der Untersuchungsflächen umfasst diese Artenliste keine nitrophilen oder nitrophytischen Flechten- oder Moosarten.

**Tab. 3.1:** Übersicht über wichtige Flechten- und Moosarten in der untersuchten Vegetation.

Artname	Wuchsort	Farbe	Bemerkungen zum Wuchs
<b>Strauchflechten</b>			
<i>Usnea aurantiaco-atra</i>	epilithisch, terrestrisch	gelb	lockerer Strauch
<i>Himantormia lugubris</i>	epilithisch, terrestrisch	schwarz/grau	lockerer Strauch
<i>Usnea antarctica</i>	epilithisch, terrestrisch, epibry	gelb/grau	lockerer Strauch
<i>Pseudephebe pubescens</i>	terrestrisch	dunkelbraun	lockerer Strauch
<i>Sphaerophorus globosus</i>	terrestrisch	orange/weiß	„polsterartig“
<b>Krustenflechten</b>			
<i>Ochrolechia frigida</i>	epibry	weiß	
<i>Psoroma hypnorum</i>	epibry	dunkelbraun	
<i>Placopsis contortuplicata</i>	epilithisch	grau/hellbraun	
<i>Lecidea sciatrapha</i>	epilithisch	weiß/schwarz (Apothezien)	
<b>Rasenbildende Moose</b>			
<i>Chorisodontium aciphyllum</i>	terrestrisch	hellgrün	teilweise „polsterartig“
<i>Polytrichum alpinum</i>	terrestrisch	dunkelgrün	Rasen
<i>Polytrichum alpestre</i>	terrestrisch	dunkelgrün	„polsterartig“
<b>Polsterförmige Moose</b>			
<i>Andreaea regularis</i>	epilithisch	schwarzbraun	
<i>Andreaea gainii</i>	epilithisch	rötlichbraun	auch zu „Rasen“ zusammenschließend
<b>Teppichförmige Moose</b>			
<i>Sanionia uncinata</i>	terrestrisch	gelblichgrün bis grün	auch polsterförmige Formen bildend
<i>Calliergon sarmentosum</i>	terrestrisch	weinrot bis grün	
<b>Lebermoose</b>			
<i>Cephaloziella varians</i>	epibry, auf Humus, terrestrisch	schwarz/rot/grün	
<i>Barbilophozia hatcheri</i>	terrestrisch	rot bis grün	
<i>Herzogobryum teres</i>	terrestrisch, auf Humus	schwarz/grau	

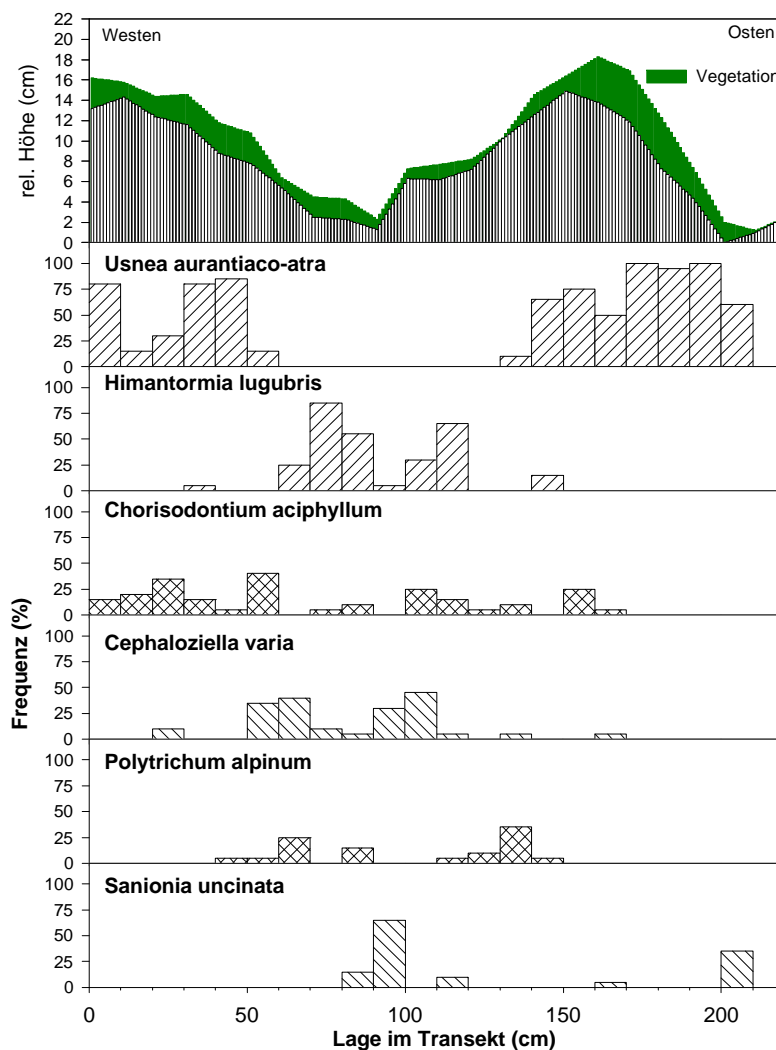


### 3.1 Vegetationsuntersuchungen

#### 3.1.1 Frequenzanalysen

##### 3.1.1.1 Vegetation in Abhängigkeit vom Mikrorelief

Die Untersuchung von Transekt A1 (Abb. 3.1), welches mit einer Gesamtlänge von 2,2 m quer über ein kleines Polygon mit schlammigen Kern (tonig) und steinigen Rändern (bis ca. 10 cm Durchmesser) verlief, wurde ausgewählt um die Abhängigkeit einzelner Arten vom Mikrorelief zu demonstrieren. Der Höhenunterschied zwischen dem höchsten und dem tiefsten Punkt betrug nur 14 cm.



**Abb. 3.1:** Höhenprofil, Vegetationshöhe und Frequenzen ausgewählter Arten im Transekt A1 (Ardley Island). Hauptwindrichtung war Nordwest-Nord.

Jede der sechs häufigen Arten im Transekt wies ein eigenes Verbreitungsmuster auf. Die höchsten Bereiche wurden im wesentlichen von der Strauchflechte *Usnea aurantiaco-atra* besiedelt, in tiefer gelegenen Transektteilen fehlte sie vollständig. Die Bestände *U. aurantiaco-atra* an den höchstgelegenen Stellen (Abb. 3.1, obere Grafik) am besten entwickelt. Die schwarze Strauchflechte *Himantormia lugubris* trat

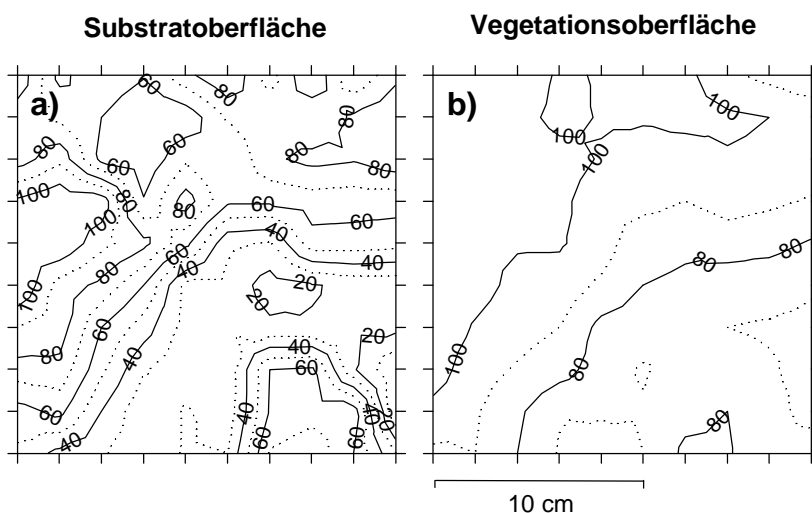
sporadisch zwischen *Usnea* auf, in den tiefer gelegenen Teilen trat sie hingegen hochfrequent auf. Die Ergebnisse lassen vermuten, dass in den oberen Bereich *Himantormia lugubris* aus Konkurrenzgründen und nicht aufgrund autökologischer Beschränkungen ausfällt.

Von den Moosen kommt *Chorisodontium aciphyllum* im ganzen Transekt vor, ohne jedoch dominant zu werden. Es fehlte in den stark inklinierten Bereichen. Das mattenbildende Lebermoos *Cephaloziella varians* war stärker in niedrigeren Transektteilen zu finden, meist gebunden an matten- oder posterbildenden Moosarten oder deren Überreste. *Polytrichum alpinum* zeigte eine Präferenz für die niedriger gelegenen Transektteile, was wohl auch auf die bessere Wasserhaltigkeit des Substrates (tonig) zurückzuführen war. *Sanionia uncinata* hatte von allen Moos- und Flechtenarten den niedrigsten Verbreitungsschwerpunkt im Transekt.

Das Transekt A1 ist insofern recht instruktiv, da schon der geringe Niveauunterschied von 14 cm ausreichte, um die Vegetation eindeutig zu sortieren. Langfristige Schneebedeckung kann als Hauptgrund für die observierten Muster weitgehend ausgeschlossen werden, da in Richtung der Hauptwindrichtung zu beiden Seiten sich ebenes Gelände erstreckt und das Polygon quer zur Windrichtung verlief.

Bei weiteren Beobachtungen im Gelände fielen auch in anderen Gesellschaften, die nicht Gegenstand eingehender Untersuchungen waren, ähnliche Phänomene der mikroreliefabhängigen Sortierung auf, wie z.B. in Geröllflächen mit Steingrößen von ca. 10 cm, wo auf Spitzen der Steine *Usnea aurantiaco-atra* wuchs während in den Zwischenräumen *Himantormia lugubris* und *Andreaea*-Arten vorkamen.

Das Mikrorelief prägt jedoch nicht immer die aktuelle Vegetation. Bei den

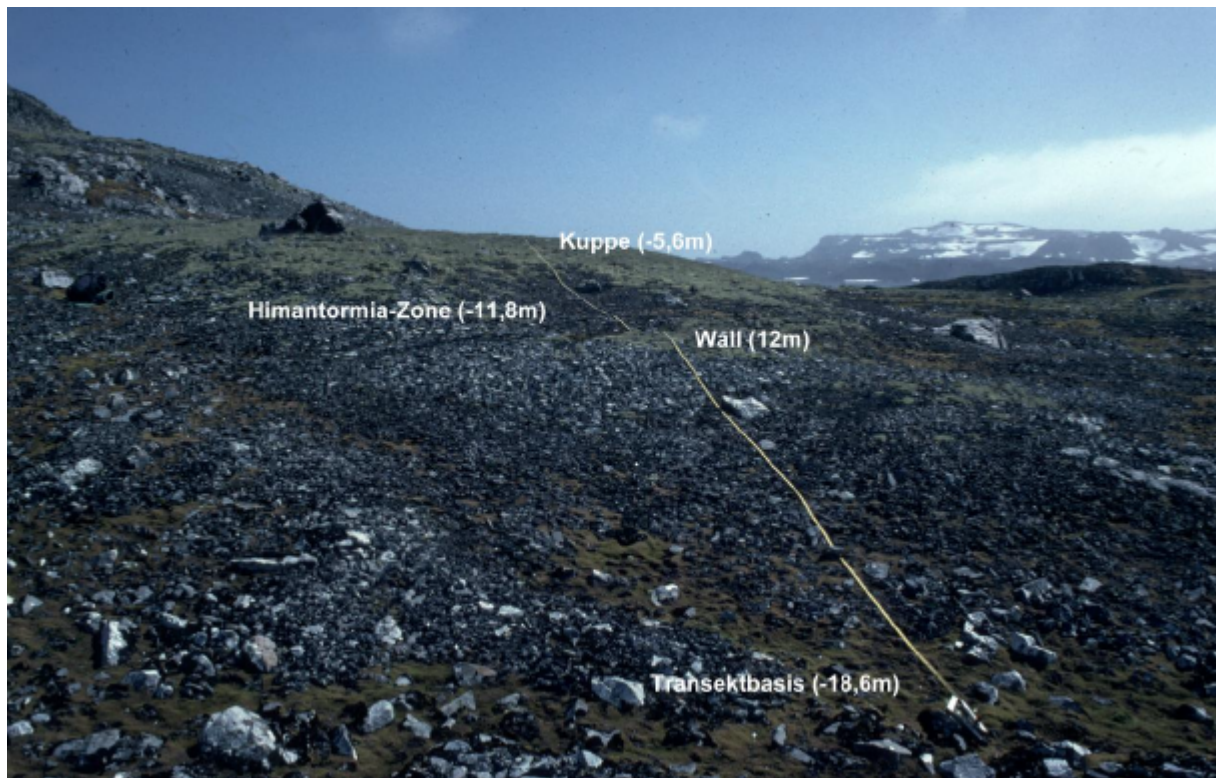


**Abb. 3.2:** a.) Isoliniendiagramm der rel. Höhe des Substrates zum niedrigsten Punkt der Substratoberfläche (in mm), b.) Isolinien Vegetationsoberfläche aus *Sanionia uncinata* und *Calliergon sarmetosum* in Relation zum niedrigsten Punkt der Substratoberfläche (in mm).

Strukturanalysen wurde unter der recht ebenen Moosoberfläche von *Sanionia uncinata* (dominant) und *Calliergon sarmentosum* Reliefunterschiede von 8 cm gefunden (Abb. 3.2, Transekt A4, 11,2-11,4 m), was in etwa der in Transekt A1 vorgefundenen Höhenunterschieden entspricht.

### 3.1.1.2 Vegetationszonierung entlang eines komplexen Gradienten

Der Schwerpunkt der Untersuchungen auf Ardley Island lag auf der Bearbeitung einer Hügelkuppe, an der 4 Transekte in verschiedene Himmelsrichtungen gelegt wurden. Die Transekte sollten auf eine Vegetationszonierung entlang eines komplexen Gradienten untersucht werden. Es kann angenommen werden, dass die Windgeschwindigkeiten von Senkenbereichen zur Kuppe hin zunehmen, die Feuchtigkeit und Schneebedeckung hingegen abnehmen. Die Anlage von vier Transekten war notwendig, um eine mögliche Expositionsabhängigkeit der Vegetation zu überprüfen. Maximale Hangneigungen lagen bei ca. 25°, wobei ein Höhendifferenz von etwas mehr als 2 m zwischen Kuppe und Hangfuß bestand.



**Abb. 3.3:** Transekt A5 (Ardley Island) Die Blickrichtung ist vom Transektfuß (m 18,6) in Richtung Norden (Hauptwindrichtung). Die Zahlen hinter den Bezeichnungen geben die maximale Entfernung vom Transektursprung auf der Kuppe an. Das Substrat – wie unterhalb vom Wall sichtbar - bestand hauptsächlich aus Schotter und größeren Steinen. Kryptoturbation war nicht zu erkennen.

Zur Illustration der observierten Vegetation wird hier Transekt A5 (Abb. 3.3, 3.4) dargestellt, das mit 18,4 m Länge das Längste war. Drei der Transekte wiesen einen kontinuierlichen Hangabfall auf, beim dargestellten Transekt wurde der Verlauf bei Meter 12 jedoch von einem kleinen Gesteinswall unterbrochen. Die Ausrichtung war in Richtung SSO in Lee zur Hauptwindrichtung.

#### Strauchflechten

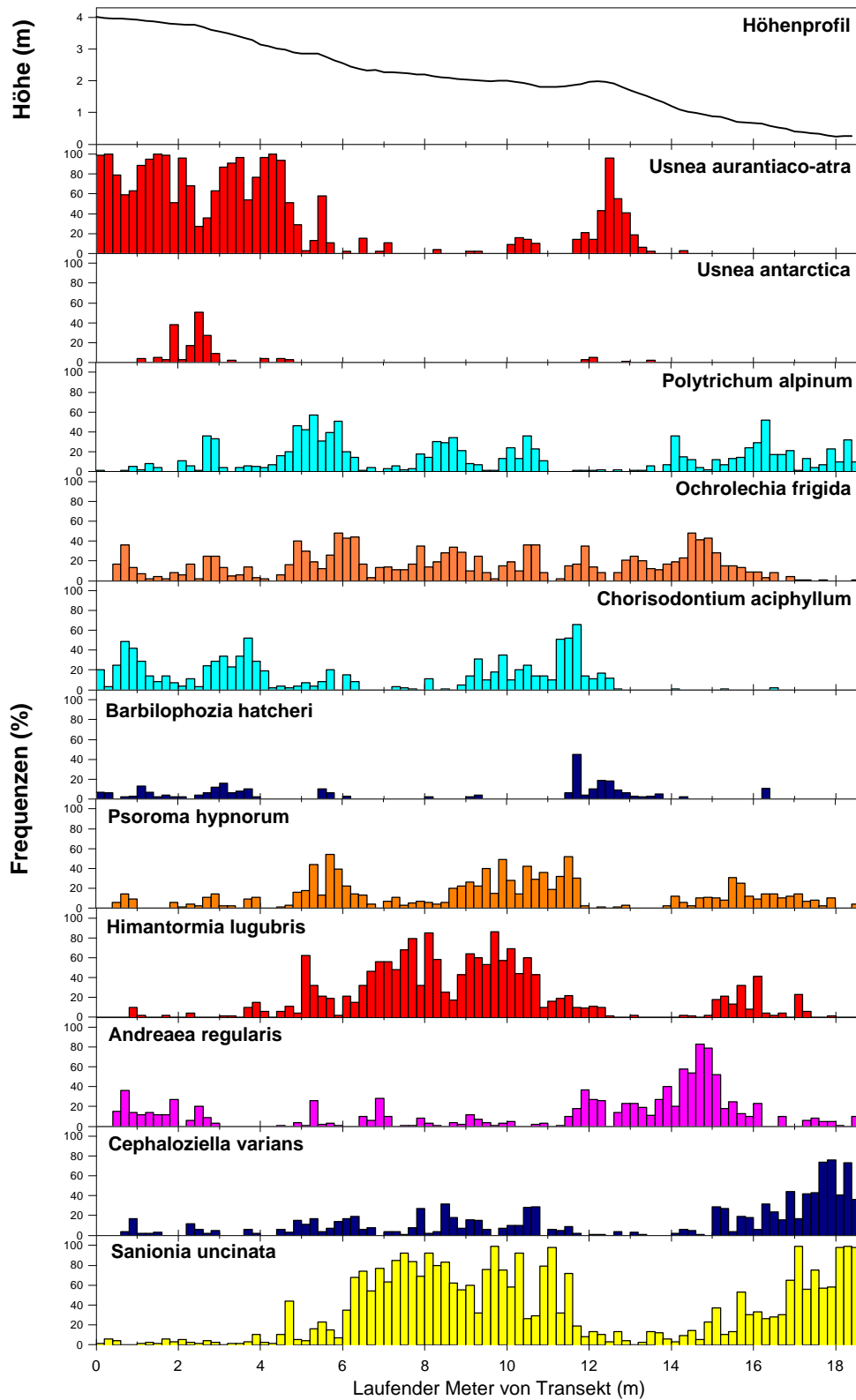
Im oberen Bereich des Transektes war *Usnea aurantiaco-atra* aspektbildend und dementsprechend hochfrequent. Unterhalb von 5,6 m kam *Usnea aurantiaco-atra* nur noch schwachfrequent und zerstreut vor. Auf dem kleinen Wall bei 12 m wurde sie wieder hochfrequent, um zum Transektfuß hin ganz auszufallen. Interessant ist, dass also nicht die absolute Position im Hang das Vorkommen bestimmt, sondern die Mikromorphologie des Geländes.

*Usnea antarctica* trat in der Hauptzone ebenfalls auf, ist aber noch stärker an exponierte Bereiche gebunden als *Usnea aurantiaco-atra*. Anders als *U. aurantiaco-atra* scheint sie Moospolster neu besiedeln zu können. Trotzdem trat *U. antarctica* vergleichsweise selten auf. Eine Verdrängung und Ersetzung der einen durch die andere Art ließ sich nicht beobachten.

*Himantormia lugubris* hatte seine höchsten Frequenzen in den Bereichen von 5,0-12,0 m und von 15,0-17,4 m. Auch in dem durch *Usnea* bestimmten Teil des Transekt kam sie vereinzelt vor. Da *Himantormia lugubris* auch auf exponierten Gesteinsoberflächen vorkam, ist wohl anzunehmen, dass sie im Kulmbereich des Hügels aufgrund von Konkurrenzschwäche so selten ist.

#### Laubmoose

Die polsterförmigen Rasen von *Chorisodontium aciphyllum* hatten ihren Verbreitungsschwerpunkt auf der Kulmfläche. Wo *Usnea aurantiaco-atra* schwächer frequent war trat *C. aciphyllum* vermehrt auf. Von dem weitgehenden Ausfall von *U. aurantiaco-atra* und der Ersetzung durch *Himantormia lugubris* unterhalb vom Transektmeter 5,6 profitierte diese Moosart nicht. Erst in der Nähe des Walls bei Meter 12,5 trat *C. aciphyllum* wieder verstärkt auf. Darunter fehlte *C. aciphyllum* fast vollständig. Anhand der Frequenzanalysen ließ sich nicht differenzieren, ob *C. aciphyllum* durch Konkurrenz von *Sanionia uncinata*, Abschattung durch *H. lugubris* oder aufgrund autökologischer Beschränkungen zwischen dem 4. und 9. Transektmeter so gering vertreten war. Das Ansteigen der Frequenzen über dem Wallbereich deutet aber auf Gründe hin, die in biotischer Interaktion liegen.



**Abb. 3.4:** Höhenprofil und Frequenzen von ausgewählten Arten im Transekt A5 (Ardley Island). Die Höhe bezieht sich auf den tiefsten Punkt der Transekte A2-A5. Farben: rot-Strauchflechten, orange-Krustenflechten, cyan-Moosrasen, dunkelblau-Lebermoose, violett-Moospolster, gelb-Moostepich

Teppiche von *Sanionia uncinata* fanden sich im unteren Bereich des Transektes. Dort erreichte dieses Moos Frequenzen bis zu 100 %. Doch auch in der Zone, wo *Himantormia lugubris* den Aspekt bestimmte, wurden solche hohen Frequenzen erreicht; ein genereller antagonistischer Effekt zwischen dem Moos und der Flechte ließ sich nicht feststellen. Im oberen Transektbereich drang *S. uncinata* auch vor, jedoch waren dies nur einzelne Stämmchen und keine Teppiche. Ob der Wuchs aus synökologischen Gründen gehemmt war, oder, ganz im Gegenteil, die Ansiedlung erst durch die biotisch veränderten standörtlichen Bedingungen möglich war, ließ sich anhand dieser Frequenzanalysen nicht klären.

Auch *Andreaea regularis*, als Mitglied einer obligat gesteinsbewohnenden Gattung, kam über das gesamte Transekt vor, doch lag der Schwerpunkt auf dem steilen, besser drainierten Hangfuß unterhalb des Steinwalls. In diesem Bereich war auch ausreichend offenes Hartsubstrat zur Ansiedlung vorhanden. Aufgrund der ökologischen Vorinformationen zu *A. regularis* kann davon ausgegangen werden, dass diese Art aufgrund von Konkurrenz und biogener Substratveränderung schwächer präsent ist, als von der Autökologie zu vermuten wären.

*Polytrichum alpinum* war in mittleren Frequenzen im ganzen Transekt anzutreffen. Die höchsten Frequenzen traten in Bereichen mit wenigen Strauchflechten und gleichzeitig feuchtem Substrat auf.

#### Lebermoose

Nennenswert häufig traten nur zwei Arten von Lebermoosen im Transekt auf: *Cephaloziella varians* und *Barbilophozia hatcheri*. Beide Arten scheinen an das Vorkommen von anderen Arten gebunden zu sein. So war *Barbilophozia hatcheri* in der *Usnea*-Zone verbreitet und kam horizontal orientiert unter *Usnea*-Beständen vor, oder es befand sich senkrecht orientiert zwischen *C. aciphyllum*. Dieser Befund weist möglicherweise auf die notwendige Präsenz von schattenspendenden Arten hin.

Anders verhält sich das Lebermoos *Cephaloziella varians*, welches im wesentlichen zwischen und auf anderen Moosarten oder deren Überresten auftrat. Maximale Frequenzen wurden im basalen, feuchtesten Hangteil erreicht. Prinzipiell verhielt sich *C. varians* wie ein Epiphyt, der die Substratfeuchte von lebenden oder toten Pflanzen ausnutzt.

#### Epibrye Flechten

Eine ähnliche Strategie wie *C. varians* verfolgen beiden Krustenflechten *Ochrolechia frigida* und *Psoroma hypnorum*. Auch sie sind auf Moose als Substrat angewiesen, ohne dass sie Präferenzen für eine bestimmte Art aufweisen. Im Unterschied zum

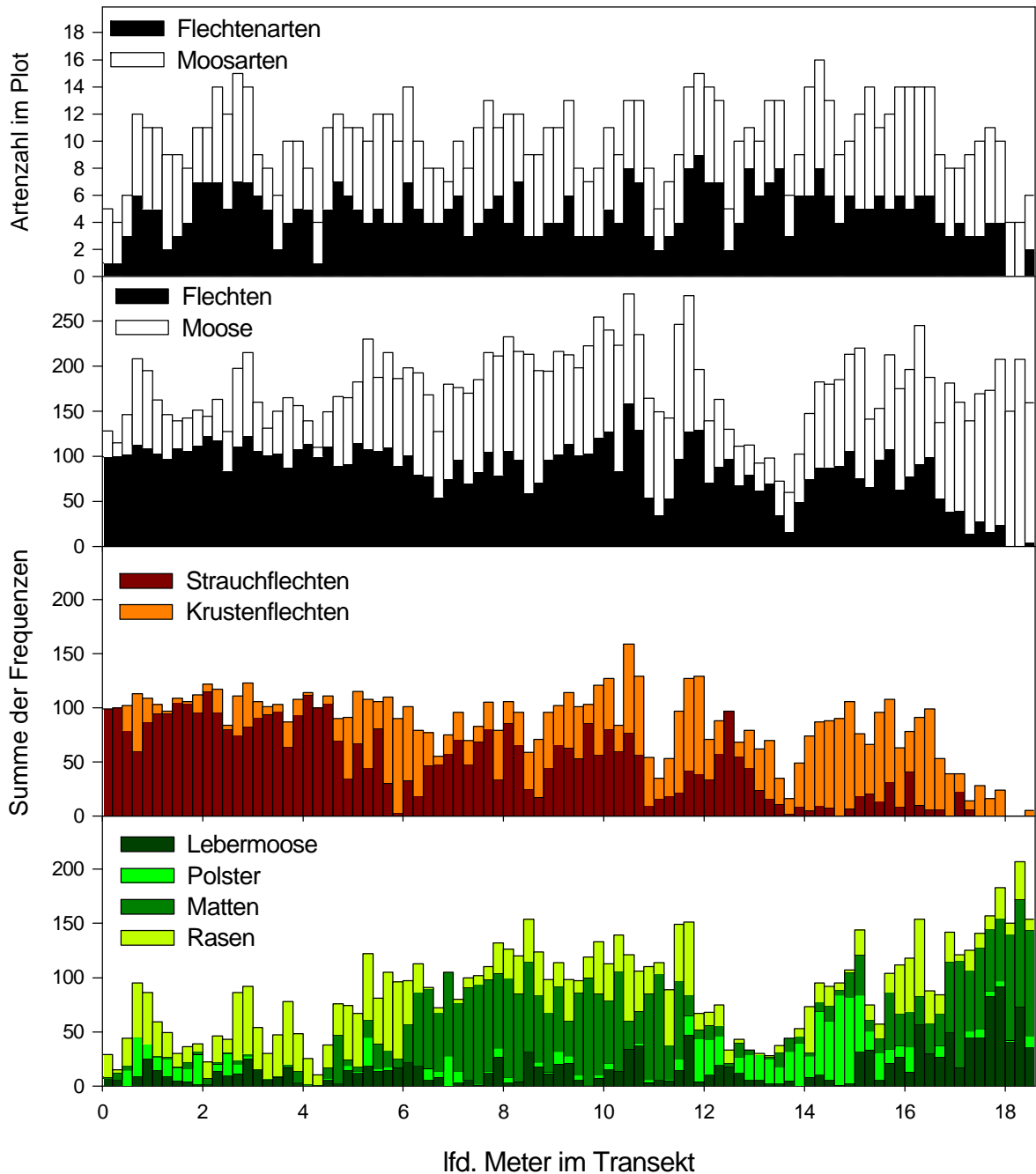
Lebermoos war das besiedelte Moos stets tot. *Ochrolechia frigida*, mit einer Grünalge als Photobiont (REDÓN 1985), war überall mäßig frequent, fiel aber am feuchten Hangfuß weitgehend aus. *Psoroma hypnorum*, mit einem Cyanobakterium als Photobiont (REDÓN 1985), war auch in den feuchten Bereichen präsent, aber im obersten Teil des Transektes deutlich schwächer. Bevorzugte Moose für die Ansiedlung waren *Sanionia uncinata* und epilithische *Andreaea regularis*.

### 3.1.1.3 Gruppen und Wuchsformen

Schon im Gelände fiel auf, dass verschiedene Wuchsformen wie z.B. Strauchflechten in bestimmten Bereichen fehlten. Es gibt experimentelle Befunde, dass viele Flechten Dauerfeuchte nicht ertragen können (RIED 1960, FARRAR 1976). Abhängig von der Exposition, Wasserverfügbarkeit und Schneebedeckung dürfte sich demnach das Wuchsformenspektrum der Flechten- und Moosarten ändern. Allerdings ist die artspezifische Antwort auf die Umweltbedingungen gerade bei Moosen sehr plastisch, so dass ein Rasen polsterförmig aussehen kann (z.B. üppig wachsendes *C. aciphyllum*) oder sich Polster zu „Rasen“ zusammenschließen können (z.B. dicht wachsende *A. regularis*).

In Abbildung 3.5 ist die Verteilung der Artenzahlen von Moosen und Flechten im Transektverlauf dargestellt. Für die Flechten war kein eindeutiger Trend festzustellen, nur bei starkem Auftreten von *Himantormia lugubris* war die Artenzahl unterdurchschnittlich. Im Senkenbereich bei 18,0-18,6 m fielen Flechten ganz aus. Die durchschnittliche Artenzahl bei Flechten lag bei 4,7 Arten/ 400 cm<sup>2</sup> etwas niedriger als die für Moose ermittelte Artenzahl von durchschnittlich 5,5 pro Plot. Bei Moosen stieg die Artenzahl tendenziell vom Transektausgangspunkt zum Senkenbereich. Der Vergleich von reinen Artenzahlen hat insgesamt wenig Aussagekraft und der Gradient wird nur sehr ungenügend abgebildet.

Eindeutigere Beziehungen waren in den kumulierten Frequenzen von Strauch- und Krustenflechten (Blattflechten kamen nicht vor) ablesbar. Die Frequenzen ergaben kumuliert ungefähr 100 %, was darauf hinweist, dass pro Rasterfeld im Plot meist eine Flechte vorkam. Es traten im Regelfall also weder Durchdringung und Überlappung auf, noch fehlten Flechten über größere Strecken. Zum basalen Teil des Transekts hin nahm die Frequenzsumme deutlich ab. Betrachtet man die Relationen von Strauch- und Krustenflechten, so fällt ein antagonistischer Effekt auf. Der Anteil der Strauchflechten nahm zum Hangfuß immer weiter ab, während in gleichem Maße das Vorkommen von Krustenflechten zunahm. Es zeigte sich, dass



**Abb. 3.5:** Transekt A5, Artenzahlen von Flechten und Moosen (oben), kumulierte Frequenzen von Moosen und Flechten (Mitte oben), kumulierte Frequenzen von Krusten- und Strauchflechten (Mitte unten) und kumulierte Frequenz von einzelnen Mooskategorien (unten) jeweils bezogen auf einen Plot (=400 cm<sup>2</sup>).

eine Strauchflechtenart nicht von einer anderen direkt ersetzt wurde, da in dem Histogramm der Strauchflechten deutliche Kerben zu sehen sind.

Die Zahl der Moosarten schwankt im Transekt A5 zwischen 3 und 9 Arten, während die kumulativen Frequenzen pro Plot zwischen 15 und 200 % schwanken. Die hohen Frequenzwerte zeigen einen hohen Durchmischungsgrad der Vegetation an. Insgesamt wurden Moose im Transektverlauf häufiger. Im obersten Bereich waren noch rasige Moose der Hauptbestandteil. Von 6,0-11,8 m waren Matten die häufigste



Wuchsform, um dann, unterhalb des Steinwalls (11,8-15,2 m) von Polstern abgelöst zu werden. Im basalen Teil des Transektes traten Matten und Lebermoose als häufigste Form auf.

Anhand dieser Ergebnisse wird deutlich, dass zwar eine gewisse Zuordnung von Wuchsformen zu verschiedenen Abschnitten im Transekt möglich ist, aber neben dem Feuchtigkeits- und Schneegradienten weitere verkomplizierende Faktoren die Ausgestaltung der Vegetation steuerten.

#### 3.1.1.4 Vergleich der Expositionsabhängigkeit von Transekten

Eingangs des Kapitels wurde die Frage der Expositionsabhängigkeit der Vegetation erwähnt. Es wurden deshalb vier Transekte von einem gemeinsamen Startpunkt in verschiedene Richtungen von der Kuppe heruntergeführt.

Transekt A1, welches mit 340° Ausrichtung ungefähr entgegengesetzt zu Transekt A5 (Abb. 3.2, 3.3) verlief, zeigte hingegen eine deutliche Ausprägung der Zonen mit *Himantormia lugubris* und auch *Andreaea regularis*. Im Kuppenbereich durchschnitt das Transekt eine Zone mit zusammenschließenden Polstern von *Chorisodontium aciphyllum*. Die Frequenz von *U. aurantiaco-atra* sank auf unter 20 % während *C. aciphyllum* 100 % erreichte. Das Vorkommen von *Barbilophozia hatcheri* war wieder an *Chorisodontium aciphyllum* gebunden, es kam jedoch im Bereich mit den dichten Polstern nur schwach vor.

Das Transekt A3 mit einer Ausrichtung von 13° wich von den anderen drei Transekten in Bezug auf des Vorkommen von *Chorisodontium aciphyllum* ab. In einigen Transektabschnitten ersetzten dichte Kissen von diesem Moos vollständig den ansonsten geschlossenen Bestand von *Usnea aurantiaco-atra*. Dazu trat noch *Polytrichum strictum* (= *P. alpestre*) auf. Im unteren Transektbereich war die *Himantormia*-Zone nur schwach entwickelt mit viel *Sanionia uncinata*. Dann folgte ein Bereich mit starkem Auftreten von *Andreaea regularis*. Am Hangfuß traten wieder Mischrasen aus *Calliergon sarmentosum* und *Sanionia uncinata* auf.

Bei Transekt A4 von Ardley Island, welches mit einer Ausrichtung von 68° quer zur Hauptwindrichtung abfiel, erfolgte der Übergang von dem *Usnea*-dominierten Bereich sehr scharf. Innerhalb von 60 cm fielen die Frequenzen von *Usnea aurantiaco-atra* von ca. 80 % auf 0 %. Die Bereiche mit *Himantormia lugubris* und *Andreaea regularis* waren nur schwach entwickelt. Am Hangfuß trat zu *Sanionia uncinata* und *Cephaloziella varians* auch *Calliergon sarmentosum*.

Die Unterschiede zwischen den vier Transekten fielen unerwartet gering aus, so dass keine prinzipiellen Unterschiede in der Vegetation erkannt werden konnten.

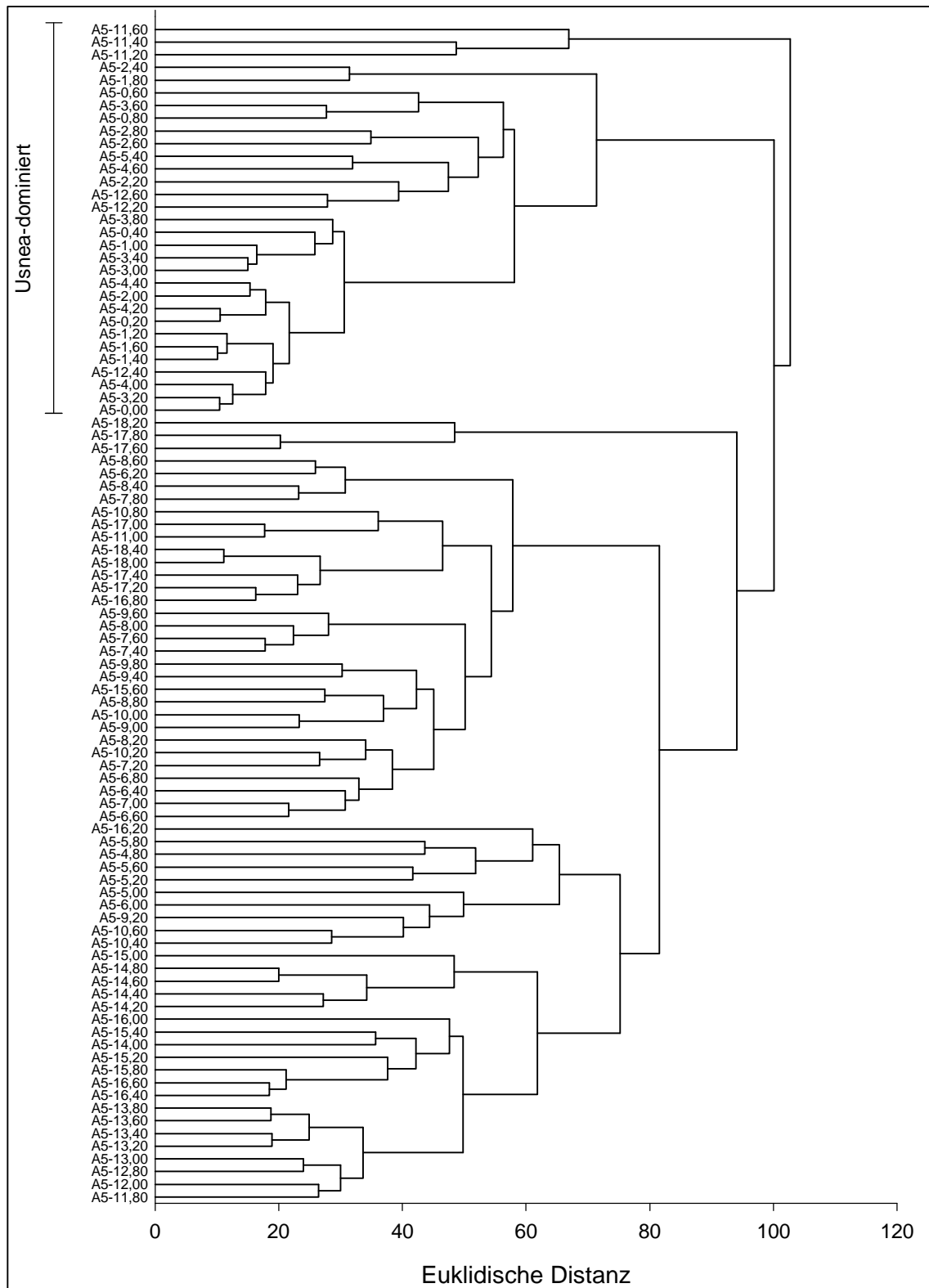
Völlig abweichend von den vorher gezeigten Transekten war Transekt A6, welches in Süd-Nord-Richtung über die Kuppe eines benachbarten Berges verlief. Dieses Transekt wurde zu Vergleichszwecken angelegt, da für die Analyse von Faktoren, die die Vegetationsausprägung bestimmen, möglicherweise ein extremerer Standort wertvolle Informationen liefern könnte.

Das Substrat bestand hauptsächlich aus kleineren Steinen (um 5 cm) und unterschied sich damit kaum von dem der anderen Kuppe. Bedingt durch die Gipfellage war die Fläche jedoch in alle Richtungen exponiert. Dominierende Flechte war im gesamten Kuppenbereich *Usnea antarctica*. *U. aurantiaco-atra* hingegen kam nur verstreut vor. Moose traten im Kuppenbereich nur wenige auf. In dem tiefer gelegenen Teil des Transektes dominierte *Andreaea gainii* während *A. regularis* nicht vorkam. Hier trat auch *Chorisodontium aciphyllum* auf, welches im Kuppenbereich vollständig fehlte. *Sanionia uncinata* und *Cephaloziella varians* kamen nur sehr verstreut im Transekt vor.

#### 3.1.1.5 Klassifizierung

Sowohl bei der Auswertung der Wuchsformenspektren, als auch beim Transektvergleich traten Schwierigkeiten bei der Zuordnung zu Gesellschaften auf. Es bot sich deshalb die Durchführung einer Clusteranalyse an, um festzustellen, ob die Übergänge zwischen den einzelnen, im Gelände ansprechbaren Zonen, diskret oder abrupt verliefen und ob die Exposition Unterschiede in der Vegetation bedingte, die man anhand einer manuellen Analyse nicht erkennen konnte.

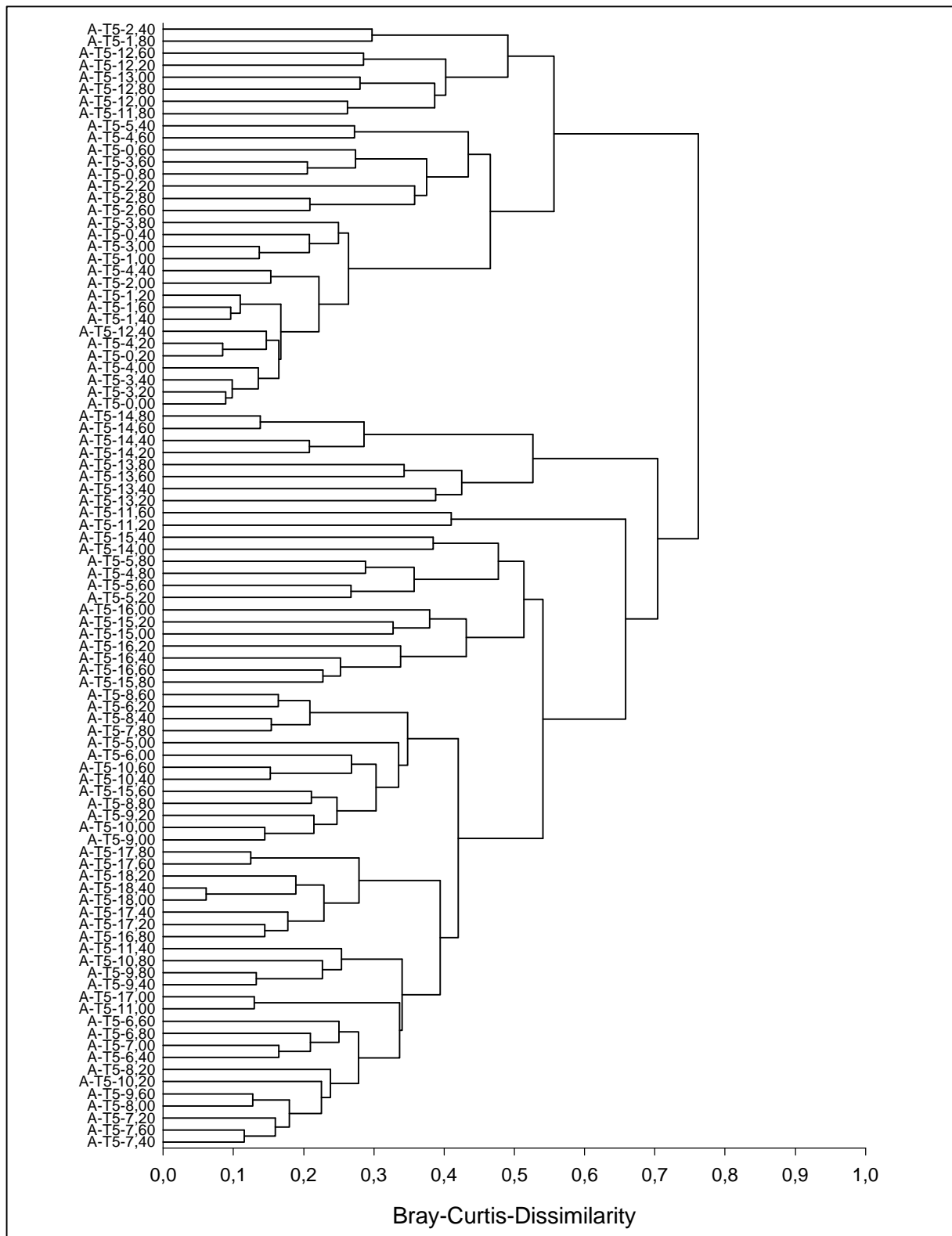
Die Abbildung 3.6 gibt die Ergebnisse einer Clusteranalyse exemplarisch für Transekt A5 wieder. Zwei deutlich voneinander getrennte Cluster lassen sich erkennen. Im oberen Teil des dargestellten Dendrogrammes wurde der Bereich mit *Usnea aurantiaco-atra*-Dominanz gruppiert. Auch der Wall bei Transektmeter 12-13 m fällt in diesen Bereich, wobei der Übergangsbereich zum Wall 11,20-11,60 m völlig herausfällt. Im unteren Teil des Dendrogrammes stehen zuerst etwas abgesondert drei der zuunterst liegenden Transektteile (m 17,6; 17,8 und 18,2). Die benachbarten Plots sind aber dem unteren Teil des Dendrogrammes zugeordnet worden, welches wiederum eine zweigliedrige Struktur hat. In dem einen Ast befinden sich Aufnahmen aus verschiedenen Bereichen wieder, insbesondere der „*Himantormia*-Zone“, aber



**Abb. 3.6:** Ergebnisdendrogramm aus der Clusteranalyse der Artenzusammensetzung der Plots von Transekt A5. Die Zahlen geben die laufenden Meter des Transekts an. Als Ähnlichkeitsindex wurde die Euklidische Distanz berechnet. Als Linkagemethode wurde die unweighted pair group average gewählt.

auch Plots aus dem untersten Bereich wurden hier eingeordnet. Der zweite, untere Ast umfasst zwei Transektabschnitte. Einerseits wurde der Übergang von der „Usneen-Zone“ auf die „Himantormia-Zone“ und andererseits wurden aber auch

Bereiche vor und unterhalb des Walls hierhin gestellt. Darin fallen also Bereiche, wo *Andreaea regularis* und Steine aspektbestimmend waren. Andere quantitative Ähnlichkeitsindizes, wie zum Beispiel der Bray-Curtis-Index (Abb. 3.7), liefern



**Abb. 3.7:** Ergebnisdendrogramm aus der Clusteranalyse der Artenzusammensetzung der Plots von Transekt A5. Die Zahlen geben die laufenden Meter des Transekts an. Als Ähnlichkeitsindex wurde die Bray-Curtis-Dissimilarität berechnet. Als Linkagemethode wurde die unweighted pair group average gewählt.

vergleichbare Cluster. Verschiedene Transektabschnitte finden sich blockweise in der Struktur des Dendrogrammes wieder. Dies spricht für das Vorhandensein von Gradienten im Transekt. Auf der Kulmfläche bis Transektmeter 4,0 m jedoch lässt sich keine solche Staffelung erkennen, was für vernachlässigbar kleine standörtliche Unterschiede in diesem Bereich spricht. Die Zuordnung von Übergangsbereichen zu bestimmten Vegetationseinheiten erscheint auch nach einer Clusteranalyse weiter problematisch.

Eine Clusteranalyse wurde mit den gesamten Daten aller Plots in allen Transekten durchgeführt (nicht dargestellt). Hier wurden die Plots, in denen *Calliigon sarmentosum* dominierte (in 12 von 389 Plots) als eigene Gruppe ausgegliedert. Deutlich von den anderen Transekten unterschied sich erwartungsgemäß A6 mit *Usnea antarctica* bzw. *Andreaea gainii*, welches in zwei Teile weiter untergliedert wurde. Die Plots mit *Usnea aurantiaco-atra* bildeten ein relativ homogenes Cluster, unabhängig von der Zugehörigkeit zu den Transekten oder der Lage in diesen.

Weiter bildeten Plots mit höheren Anteilen an *Himantormia lugubris* ein Cluster. Die Plots aus den Transekten A3 und A4 mit *Chorisodontium aciphyllum*-Dominanzbeständen ergaben ebenfalls ein Cluster. Plots mit dem teilweise hochfrequenten Vorkommen von *Andreaea regularis* wurden zwei verschiedenen Gruppen zugeordnet. Die Plots aus dem Transekt auf der Potter Halbinsel waren sich teilweise sehr ähnlich, so dass sie im Dendrogramm in der Regel dicht beieinander dargestellt wurden. Ein genereller Unterschied zwischen dem Vegetationstransekt der Potter Halbinsel und den Transekten von Ardley Island konnte, trotz unterschiedlichem Aspekt, nicht festgestellt werden. Bei den vier Transekten zur Expositionsabhängigkeit der Vegetation (A2-A5) konnte anhand der Clusteranalyse keine signifikant veränderte Zusammensetzung der Vegetation festgestellt werden.

### 3.1.2 Struktur der Vegetation

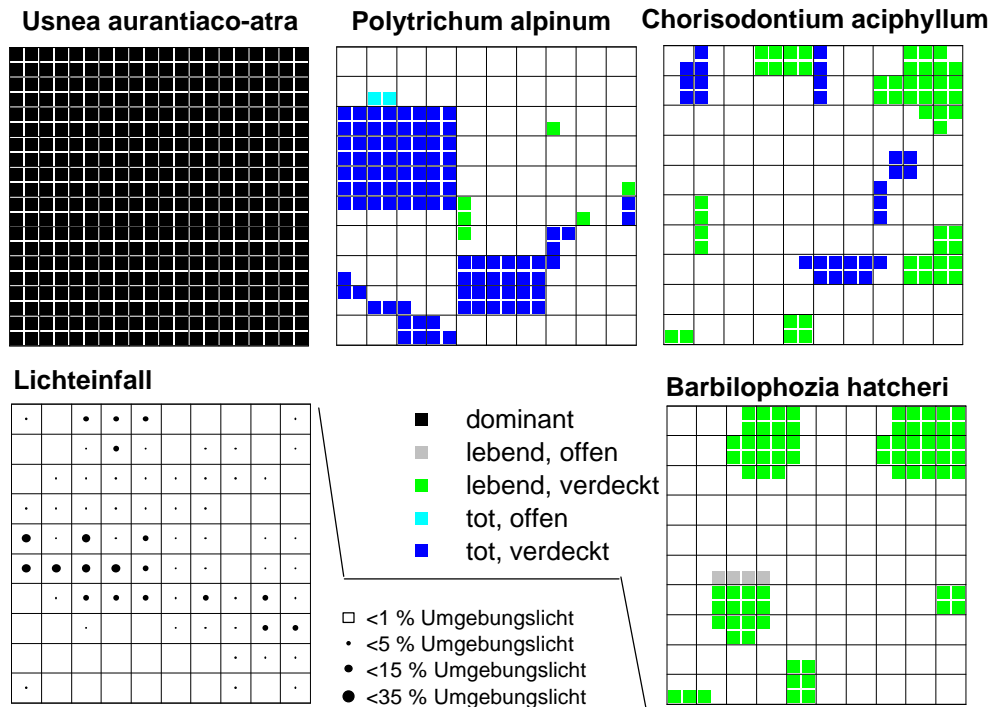
Aus den Frequenzanalysen ließen sich bereits Hinweise auf mögliche funktionell-strukturelle Zusammenhänge ableiten. Strukturanalysen, die sich eingehend mit dem dreidimensionalen Aufbau der Vegetation befassten, sollten weitere Klärung bringen. Hinweise auf Interaktionen zwischen verschiedenen Arten und Wuchsformen werden im Folgenden aus Untersuchungen der vertikalen Schichtung abgeleitet. Die Analysen wurden mit räumlichen Lichtmessungen kombiniert. Die Bestimmung von Großresten sollte Hinweise auf eine mögliche Sukzession liefern. Auf Ardley Island wurden 26 solcher Strukturanalysen angefertigt, wobei gezielt Plots innerhalb der Transekte für die Frequenzanalysen ausgewählt wurden. Auf der Potter Halbinsel wurden in einem Transekt durchgängig Strukturanalysen angefertigt. Für die Analysen besonders interessant waren dort der *Usnea aurantiaco-atra* dominierte Kulmflächenbereich und der Bereich mit häufigem Vorkommen von *Himantormia lugubris*.

#### 3.1.2.1 *Usnea aurantiaco-atra* im Kuppenbereich

Die Abbildung 3.8 demonstriert einen Plot von der Kulmfläche, wo die liegende Form von *Usnea aurantiaco-atra* auf 100 % der Fläche dominierte. Im Plot kamen außerdem drei Moosarten vor: *Polytrichum alpinum*, *Chorisodontium aciphyllum* und *Barbilophozia hatcheri*. Davon war *B. hatcheri* in vier Rasterfeldern oberflächlich sichtbar. 95 % (=75 Rasterfelder) des Bestandes waren jedoch verdeckt. Tote Bereiche traten nicht auf. *C. aciphyllum* wurde von *Usnea aurantiaco-atra* vollständig verdeckt. In 28 von 81 (=35 %) besiedelten Rasterfeldern war das Moos abgestorben. Noch ungünstiger war die Lage bei *Polytrichum alpinum*, welches in nur 6 Rasterfeldern lebend und in 101 Feldern tot gefunden wurde.

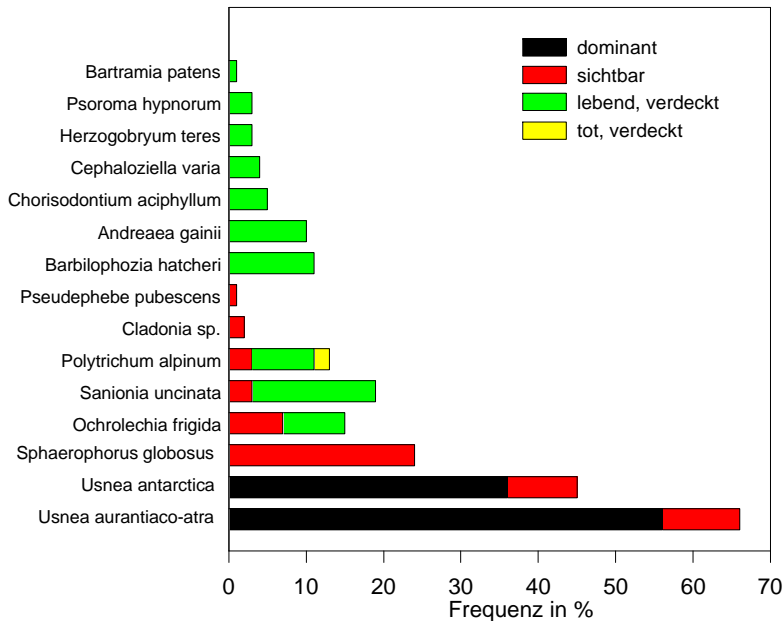
Die Abschattung durch *Usnea aurantiaco-atra* war sehr stark. Nur in 6% der Rasterfelder wurde unter der Strauchflechtenschicht mehr als 15 % des Umgebungslichtes gemessen, weitere 13 % erhielten in der unteren Schicht nur zwischen 5 und 15 % des Lichts. Weniger als 5 % und mehr als 1 % erhielten 46 % der Rasterfelder. Fast vollständig vom Licht abgeschnitten waren 35 % der Rasterfelder. Vergleicht man das Abschattungsmuster mit den Verbreitungsmustern der drei Moosarten, so sind die lichtreicheren Bereiche in der Regel besiedelt. Die dunkelsten Bereiche waren meist frei von Unterwuchs, aber es kamen auch lebende (!) Moospopulationen vor.

Dieses Beispiel zeigt eindringlich, wie durch die dichten Bestände von *U. aurantiaco-atra* die standörtlichen Bedingungen so weit verändert werden, dass andere Arten, trotz erfolgreicher Ansiedlung, wieder absterben.



**Abb. 3.8:** Strukturanalyse aus dem *Usnea aurantiaco-atra* dominierten Kuppenbereich der Transekte von Ardley Island (Lichteinfall: leeres Feld bedeutet <1 % Umgebungslight).

Die Abb. 3.9 schlüsselt die Frequenzen aller Arten von einem artenreichen Plot auf der Potter Halbinsel auf. Dominiert wurde der Plot von *Usnea aurantiaco-atra* und *U. antarctica*. Zusätzlich waren drei Strauchflechten sichtbar (*Sphaerophorus globosus*, *Pseudephebe pubescens* und *Cladonia sp.*). Dazu waren oberflächlich noch die beiden Moosarten *Sanionia uncinata* und *Polytrichum alpinum* sowie muscicole *Ochrolechia frigida* sichtbar, die Bestände wurden jedoch zum großen Teil abgedeckt. So wurde eine Frequenz von 3 % sichtbarer *Sanionia uncinata* gegenüber einer Gesamtfrequenz von 19 % ermittelt. Interessanterweise konnte auch die epibrye Krustenflechte *Ochrolechia frigida* eine Abschattung durch Strauchflechten vertragen (rund die Hälfte des Bestandes wurden verdeckt), jedoch wechselte damit die Flechtenfarbe vom typischen Weiß nach Grün. Bei *Polytrichum alpinum* wurden unterhalb der Flechtenschicht auch abgestorbene Bereiche gefunden, dies jedoch in nur geringerem Maße als bei anderen Plots aus diesem Bereich. Die drei Laubmoosarten *Andreaea gainii*, *Chorisodontium aciphyllum* und



**Abb. 3.9:** Frequenzen aller Arten des Plots J57 (Potter Halbinsel) unter Berücksichtigung des Verdeckungs- und Vitalitätsstatus.

*Bartramia patens*, die drei Lebermoose *Barbilophozia hatcheri*, *Cephaloziella varians* und *Herzogobryum teres* sowie epibrye *Psoroma hypnorum* wurden ausschließlich von Strauchflechten abgedeckt gefunden. Durch die Berücksichtigung der verdeckt wachsenden Arten erhöhte sich die Artenzahl von 8 auf insgesamt 15. Die kumulative Frequenz erhöhte sich von 151 % auf 222 %. Die versteckt wachsenden Arten, die nur nach Entfernen der abdeckenden Strauchflechtenschicht zugänglich waren, steigerten also die erkennbare floristische Vielfalt auf kleinster Fläche ganz erheblich. Es ist allerdings jedoch so, dass generell keine der hier verdeckt gefundenen Arten nicht auch unverdeckt an anderen Standorten im Gebiet vorkommen würde; die Verdeckung ist also keineswegs obligatorisch. Nur im Falle von *Bartramia patens* und *Barbilophozia hatcheri* ist im Bereich der gesamten Untersuchungsflächen eine Präferenz zu verdeckten Standorten zu beobachten gewesen.

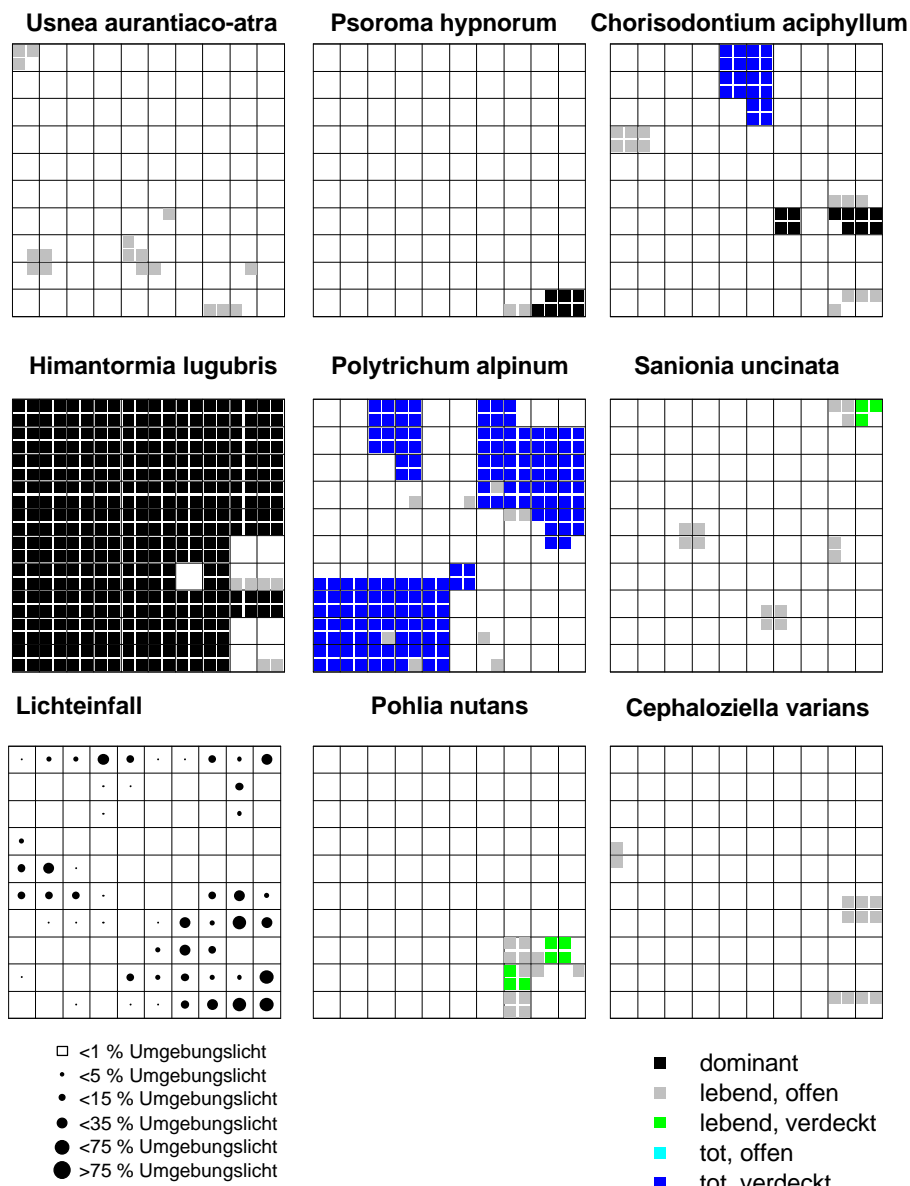
### 3.1.2.2 *Himantormia lugubris* dominant

In diesem Beispiel (Abb. 3.10) war die Strauchflechte *H. lugubris* auf 91 % der Fläche dominant; *Usnea aurantiaco-atra* kam nur in 4,25 % der Rasterfelder vor. Mit acht Moos- und Flechtenarten pro Plot war die Artenzahl auch hier unter dem Durchschnitt. Von den 372 Rasterfeldern mit *Himantormia*-Dominanz waren 187 ohne jeglichen Unterwuchs. *Polytrichum alpinum* war auf 9 Feldern lebend; in 154 Feldern kam es unterhalb von *H. lugubris* nur tot vor. Bei Abwesenheit von Strauchflechten dominierte *C. aciphyllum* in 11 Feldern. Auf weiteren 13 Feldern kam es lebend vor, jedoch wurden auch 20 Rasterfelder mit abgestorbenen *C. aciphyllum*



beobachtet. *Sanionia uncinata* kam nur im abgeschatteten Bereich vor und erreichte eine Gesamtfrequenz von 4 % (=16 Felder). *Pohlia nutans* und *Cephaloziella varians* konzentrierten sich auf die beiden „Lichtungsbereiche“. Epibry trat die Krustenflechte *Psoroma hypnorum* in 9 Feldern auf.

Die gemessene Lichtverteilung unter *Himantormia lugubris* war inhomogen, die Abschattungswirkung jedoch relativ stark. Auf 46 % der Felder wurde weniger als 1 % des Umgebungslichtes gemessen und weitere 13 % erreichte weniger als 5 % des Lichts. Das Auftreten der helleren Bereiche führte insgesamt nicht zu einem vermehrten Auftreten von Unterwuchs.



**Abb. 3.10:** Strukturanalyse aus einem Bereich mit *Himantormia lugubris*-Dominanz von Ardley Island (beim Lichteinfall bedeutet ein leeres Feld <1 % Umgebungslicht)

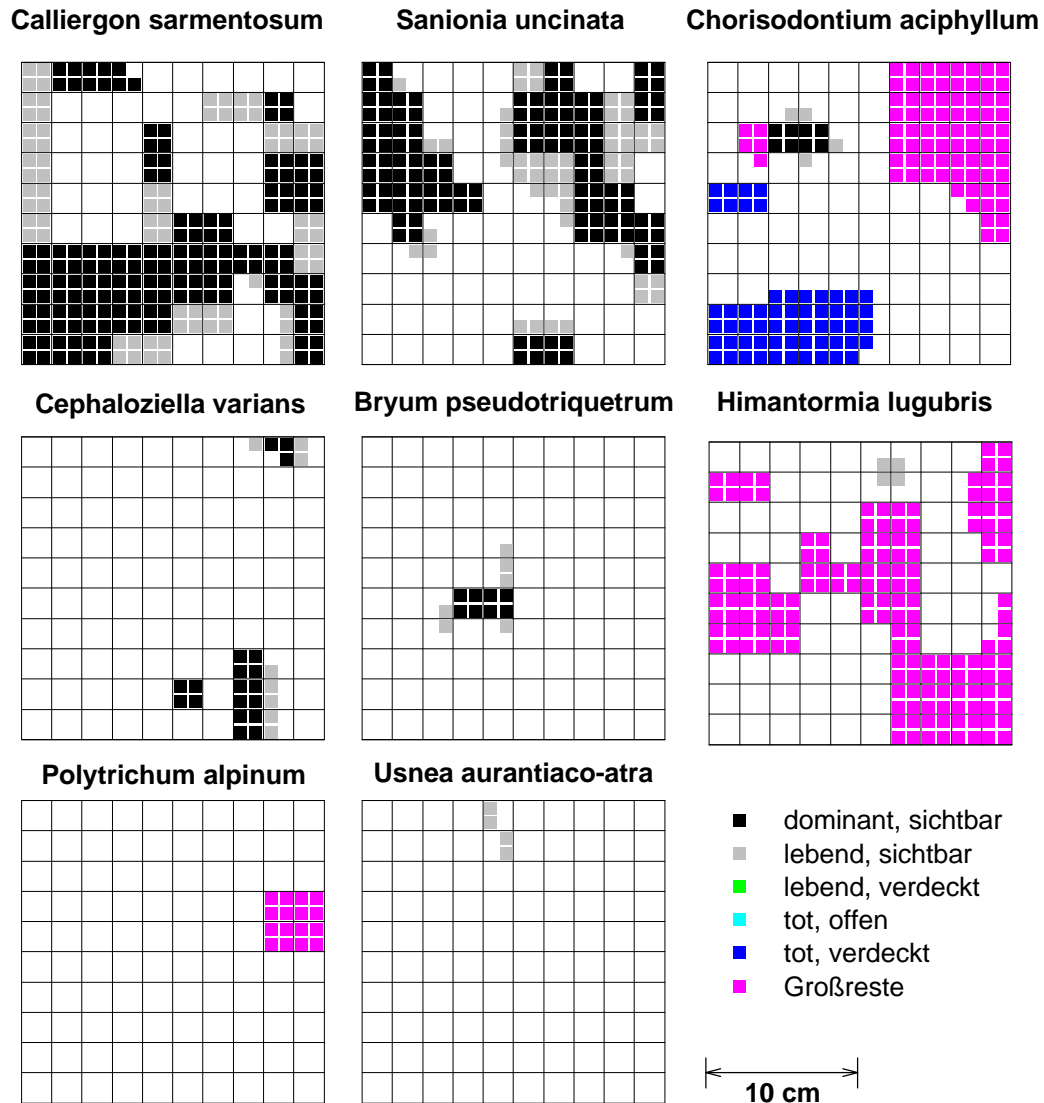
Interessant an diesem Ergebnis ist, dass *Sanionia uncinata*, die bei den Frequenzanalysen mit hohen Werten im Bereich von *Himantormia lugubris* auftrat, hier unterhalb dieser Strauchflechte nur sehr dünn vorkam. Abgestorbenes *C. aciphyllum* und *P. alpinum* bildete die Unterschicht. Dies deutet darauf hin, dass *Sanionia uncinata* nur eingeschränkt mit den Bedingungen unter dichten Strauchflechten zurechtkommt.

### 3.1.2.3 *Himantormia lugubris* im unteren Transektbereich

Die Abbildung 3.11 demonstriert eine Situation vom unteren Rand des Bereiches mit *Himantormia lugubris*. In dieser Fläche dominierten in den einzelnen Feldern *Calliergon sarmentosum* und/oder *Sanionia uncinata*. *Cephaloziella varians* trat nur in 20 cm<sup>2</sup> auf. Ein möglicherweise verdrifteter Thallus von *Usnea aurantiaco-atra* kam vor. Interessant war das Vorkommen von *Chorisodontium aciphyllum*. Großreste ließen sich auf ca. 1/3 (=130 cm<sup>2</sup>) der Fläche finden, rezent waren aber nur noch 10 cm<sup>2</sup> bedeckt. Bei *Himantormia lugubris* war die Situation noch dramatischer. Der vormaligen Bedeckung von 164 cm<sup>2</sup> stand ein heutiges Vorkommen auf nur 4 cm<sup>2</sup> gegenüber. Die charakteristischen Großreste dieser Strauchflechte waren in allen Plots unterhalb der rezenten Vorkommen zu finden und ließen sich bis tief in die Moosreste verfolgen. Dies läßt darauf schließen, dass die muscicolen (RÉDON 1985) Vorkommen von *H. lugubris* Relikte sind, die seit der Ansiedlung auf der Gesteinsoberfläche zwischen Moosen überdauert haben.

*Polytrichum alpinum* wurde nur in Form von Großresten gefunden.

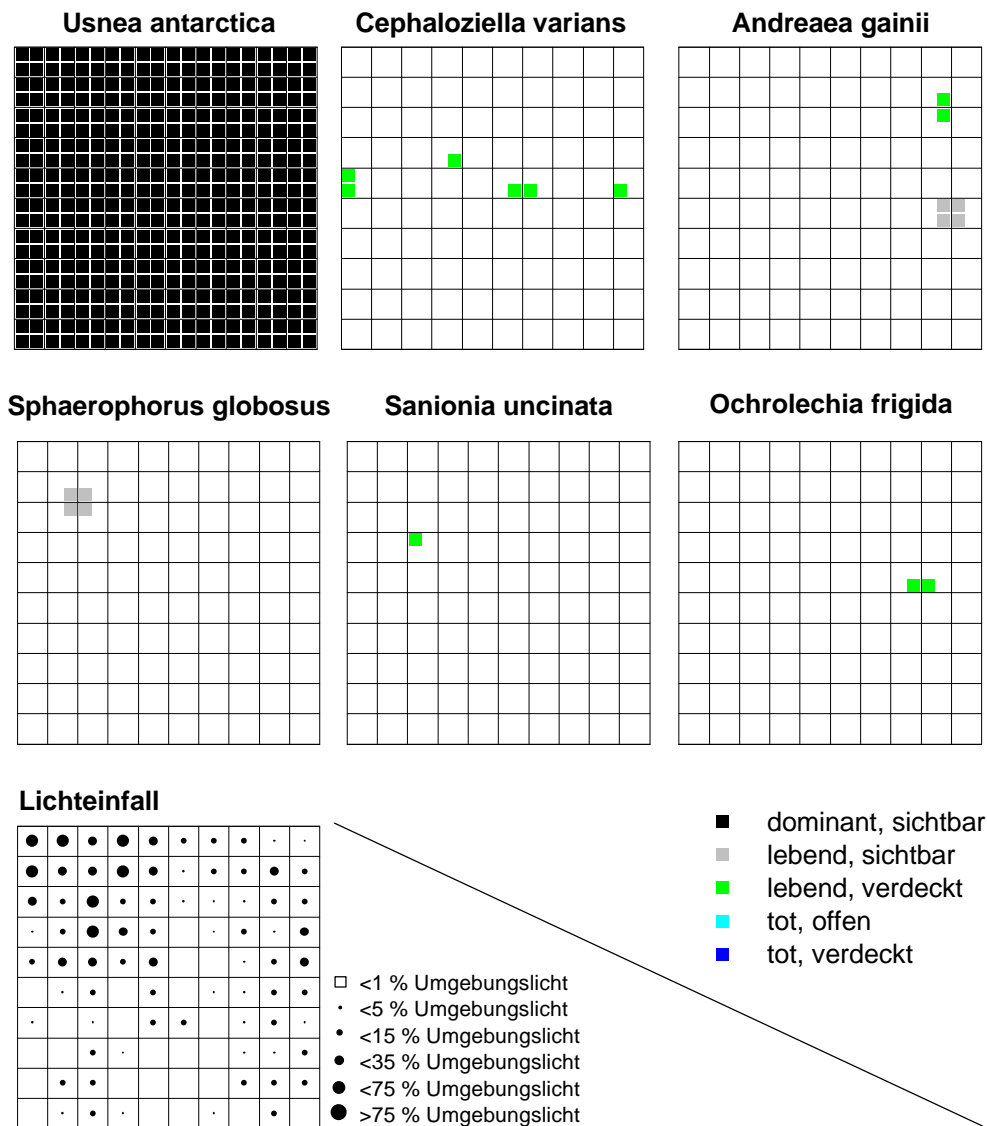
Im Gegensatz zum zuvor gewählten Beispiel wurde hier eine Strauchflechte und ein rasiges Laubmoos von niederliegenden Moosen verdrängt.



**Abb. 3.11:** Strukturanalyse aus dem unteren Bereich der Vorkommen von *Himantormia lugubris* (Ardley Island)

#### 3.1.2.4 *Usnea antarctica* in exponierter Lage

Der dargestellte Plot (Abb. 3.12) stammt aus der Kuppenregion von Transekt Nr. 6 (Ardley Island). Das Substrat war Schotter. In exponierter Lage erreichte *Usnea antarctica* auf 100 % der Rasterfelder Dominanz. Die Gesamtartenzahl im Plot war mit 6 Arten relativ gering. Neben *U. antarctica* kam eine weitere Strauchflechte, *Sphaerophorus globosus*, in 1 % der Felder vor. Als Unterwuchs kamen außerdem die drei Moosarten *Cephaloziella varians*, *Andreaea gainii* und *Sanionia uncinata* in Frequenzen von 0,25-1,5 % vor. Mit 0,5 % Frequenz kam auch die Krustenflechte *Ochrolechia frigida* vor. 96,75 % der Fläche wiesen außer den Strauchflechten keine weitere Arten auf; der Unterwuchs war also sehr spärlich.

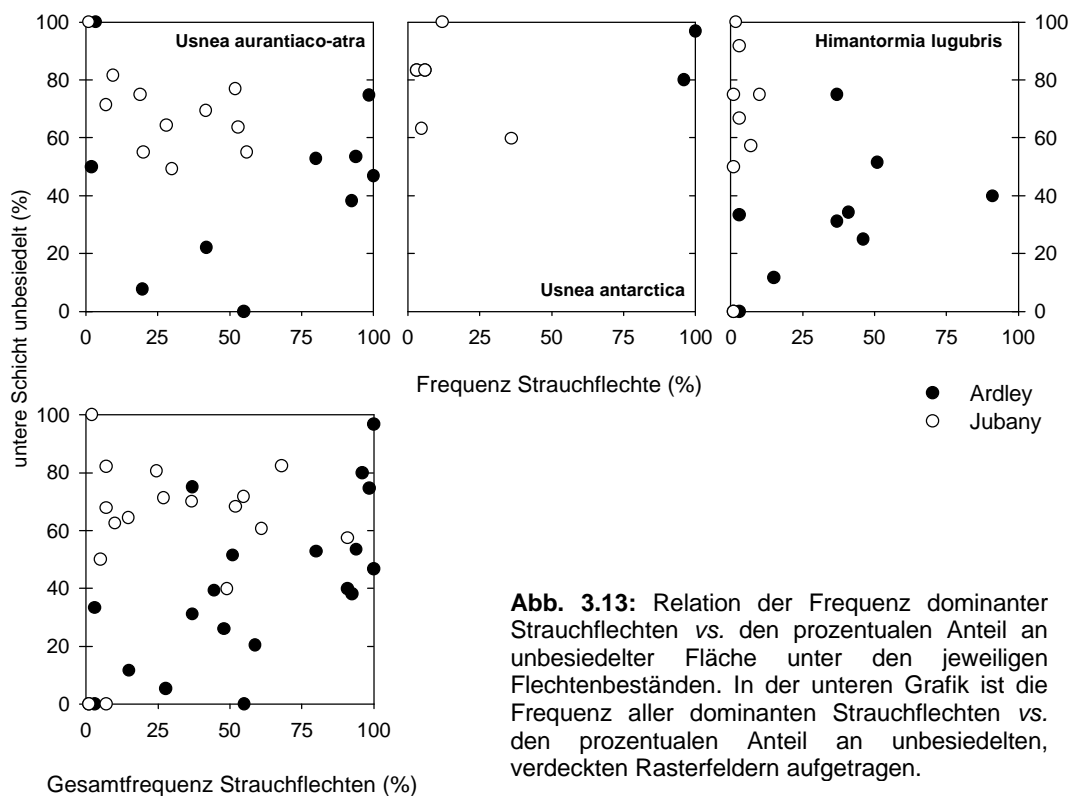


**Abb. 3.12:** Strukturanalyse aus dem Bereich einer exponierten Kuppe mit *Usnea antarctica*-Dominanz (beim Lichteinfall bedeutet ein leeres Feld <1 % Umgebungslicht)

Der Lichteinfall war durch die starke Strauchflechtenschicht von *Usnea antarctica* stark reduziert. In 24 von 100 Rasterfeldern wurde weniger als 1 % des Umgebungslichtes gemessen. In sieben Rasterfeldern wurde hingegen zwischen 35 % und 75 % des Umgebungslichtes gemessen und in weiteren 13 Feldern zwischen 15 % und 35 %. Die durch *U. antarctica* erfolgte Abschattung erklärt den Mangel an Unterwuchs aber nur unzureichend, da unter *U. aurantiaco-atra* mit stärkerer Abschattungswirkung mehr Unterwuchs zu finden war.

### 3.1.2.5 Auswirkung der Strauchflechtenschicht auf die untere Vegetationsschicht

Ein wesentliches Ziel der Analysen zur Struktur der Vegetation war es, Beziehungen zwischen dem Vorkommen von Strauchflechten und der übrigen Vegetation aufzuzeigen. Um eine mögliche Abhängigkeit des Besiedlungsstatus der unteren Vegetationsschicht von der Dichte der darüber befindlichen Strauchflechten darzustellen, wurde in Abbildung 3.13 auf die Abszissen die kumulierte Frequenz der dominierenden Strauchflechten aufgetragen, auf die Ordinaten jeweils der prozentuale Anteil von vitalem Unterwuchs, Vorkommen von Großresten und toten Thalli und von unbesiedelter Fläche unter dem Strauchflechtenbestand. Da zwischen der Vegetation bei Jubany und auf Ardley deutliche Unterschiede bestanden, wurden die Ergebnisse nach Herkunft differenziert.



**Abb. 3.13:** Relation der Frequenz dominanter Strauchflechten vs. den prozentualen Anteil an unbesiedelter Fläche unter den jeweiligen Flechtenbeständen. In der unteren Grafik ist die Frequenz aller dominanter Strauchflechten vs. den prozentualen Anteil an unbesiedelten, verdeckten Rasterfeldern aufgetragen.

Der Anteil von lebender Vegetation unter einer Strauchflechtenschicht unterscheidet sich bei den untersuchten Flächen auf Ardley von denen bei Jubany. Auf Ardley waren die Strauchflechten mit höheren Frequenzen dominant, doch wurden auch bei hohen Dominanzfrequenzen bis über 60% Unterwuchs von anderen Arten, insbesondere Moosen gefunden. Bei Jubany traten insgesamt weniger Strauchflechten auf und der unter ihnen vorkommende Unterwuchs war geringer.

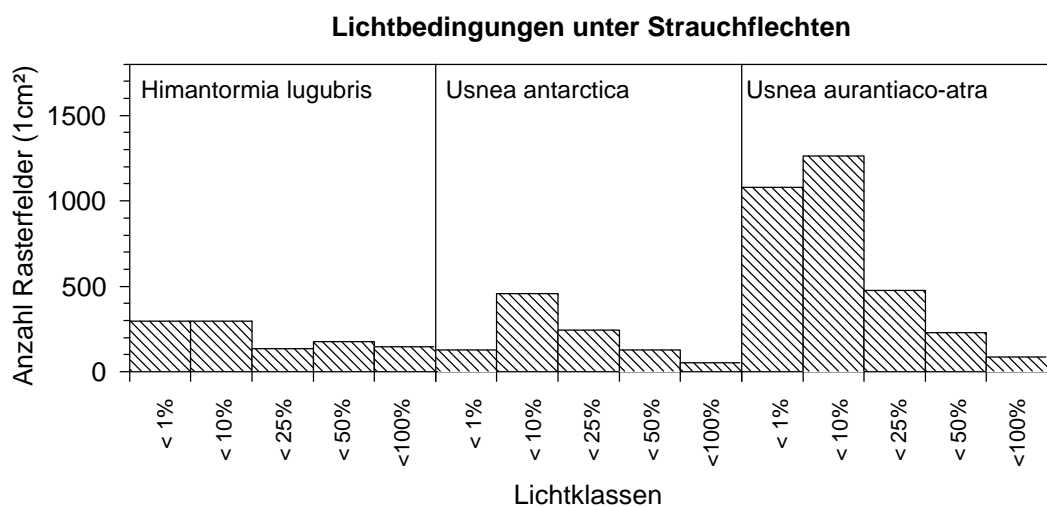
Anhand dieses Ergebnisses wird deutlich, dass es weder eine eindeutige positive, noch eine eindeutig negative Korrelation zwischen Strauchflechtendichte (=Frequenz) und dem Auftreten von Unterwuchs gibt.

Die Funde von Großresten und abgestorbenen Thalli unterhalb von Strauchflechten können ebenfalls keine eindeutigen Relationen zwischen Strauchflechten und abgedeckten Totfunden belegen. In Jubany wurden nur selten ( $\emptyset$  3 % Anteil) tote Thalli und Großreste gefunden, während auf Ardley Island der Anteil wesentlich größer und variabler war ( $\emptyset$  26 % Anteil).

Frei von lebendem oder totem Unterwuchs waren auf Jubany  $\emptyset$  61 % der Fläche unter Strauchflechten, ohne dass ein dichteabhängiger Trend feststellbar gewesen wäre. Auf Ardley Island waren nur  $\emptyset$  38 % frei von Unterwuchs und Resten, aber hohe Dichten der Strauchflechten führten tendenziell zu einer Vergrößerung des unterwuchsfreien Anteils.

### 3.1.2.6 Veränderung der Lichtverhältnisse durch Strauchflechten

Soeben wurde deutlich, dass allein die Geschlossenheit der Strauchflechtenschicht nur einen unzureichenden Hinweis auf Vorhandensein und Zustand der unteren Vegetationsschicht liefert. Einen besseren Erklärungsversuch des Vegetationsmusters unter Strauchflechten könnte die Erkundung der Lichtverhältnisse liefern. Bereits die Tatsache, dass die untere Schicht aus Moosen teilweise so stark verdeckt ist, dass ihre Zusammensetzung oder im Extremfalle sogar ihre Existenz nicht ohne Zerstörung der Flechtenschicht erschlossen werden kann, weist auf eine drastische



**Abb. 3.14:** Durch eine Strauchflechtenschicht fallendes Umgebungslicht (unter Berücksichtigung aller während der Strukturanalysen ermittelten Daten).

Abschattung durch die obere Schicht hin. Das Fallbeispiel an *Usnea aurantiaco-atra* (vgl. 3.1.2.1, S. 48, Abb. 3.5) zeigt dies schon deutlich, doch nur die systematische Auswertung aller Lichtmessungen lässt repräsentative Aussagen zu der Wirkung einzelner Arten zu.

Es wurden die Arten *Usnea aurantiaco-atra*, *U. antarctica* und *Himantormia lugubris* auf ihre Abschattungswirkung hin untersucht, die sowohl abundant als auch groß genug für diese Messungen waren. Andere Strauchflechten waren weniger häufig, so dass sie keine Berücksichtigung finden konnten.

Die Abbildung 3.14 zeigt die Lichtbedingungen unter dominanten Beständen der Strauchflechten *Himantormia lugubris*, *U. antarctica* und *Usnea aurantiaco-atra* in Form von Histogrammen. Eine mittlere Lichtabschwächung durch die Flechten wurde nicht angegeben, da die biologisch besonders relevanten hohen Abschwächungen numerisch zu schwach ins Gewicht fallen würden. Deshalb wurde für die Darstellung ein Histogramm mit ungleichen Klassenbreiten gewählt.

Bei dominanter ***H. lugubris*** wurden für 1052 Rasterfelder von 1 cm<sup>2</sup> (entspricht 263 Messungen auf 4 cm<sup>2</sup>) die Lichtabschwächung kalkuliert. Bei 28 % (=294 cm<sup>2</sup>) der Felder wurden Werte unter 1 % relativ zum Umgebungslicht ermittelt, für weitere 28 % (=294 cm<sup>2</sup>) erreichte das relative Lichtniveau nur weniger als 10 %. Bei 13 % (=136 cm<sup>2</sup>) der Felder blieb die Lichtstärke unter 25 % des Umgebungslichtes. In den restlichen 31 % der Rasterfelder wurden Werte zwischen 25 % und 100 % ermittelt.

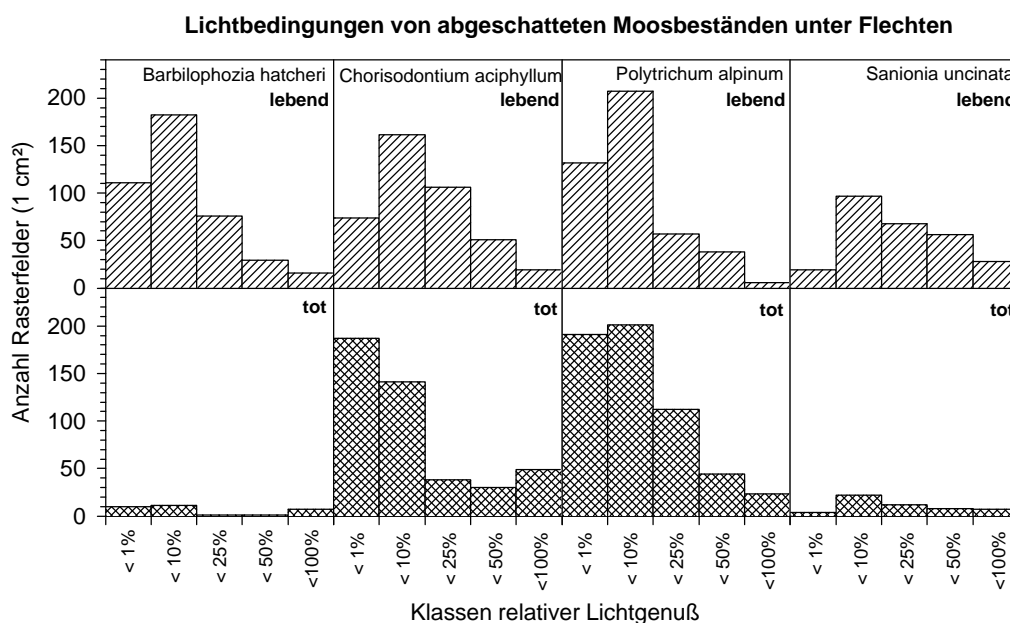
Bei ***Usnea antarctica***, der am exponiertesten wachsenden Flechte wurde eine Lichtabschwächung auf unter 1 % des Umgebungslichtes nur bei 12,7 % (=128 von 1008 cm<sup>2</sup>) festgestellt. Auf 45,2 % (=456 cm<sup>2</sup>) der Fläche wurde das einfallende Licht auf weniger als 10 % reduziert. Bei weiteren 24,2 % (=244 cm<sup>2</sup>) der Rasterfelder lagen die Werte unter 25 %. Eine geringe Abschwächung von 25 %-100 % lag nur bei 17,8 % der Fläche vor.

Bei dominanter ***Usnea aurantiaco-atra*** wurde für 3134 Rasterfelder die Lichtabschwächung bestimmt. Mit 34,5 % (=1080 cm<sup>2</sup>) lag der Flächenanteil mit stärkster Abschattung (Lichtniveau unter 1 % des Umgebungslichtes) höher als bei den beiden anderen Arten. Weitere 40,3 % (=1264 cm<sup>2</sup>) der Rasterfelder erreichte weniger als 10 % des Umgebungslichtes. Bei 15,1 % (=474 cm<sup>2</sup>) wurde eine Lichtreduktion auf unter 25 % festgestellt. In nur 10,1 % (316 cm<sup>2</sup>) der Fläche wurden unter den Flechten mehr als 25 % des Umgebungslichtes gemessen.

Nach den vorgestellten Ergebnissen schwächte *Usnea aurantiaco-atra* von den drei gemessenen Flechten das Licht insgesamt am stärksten ab. Ein ca. 4 cm hoher, liegender Thallus reichte aus, um über 99 % des einfallenden Lichtes zu absorbieren oder zu reflektieren. *Himantormia lugubris* schwächte das Licht teilweise auch sehr stark ab, doch trat dies nur bei sehr dicht schließenden Beständen auf. Häufig blieben Dominanzbestände von *H. lugubris* aber locker zusammengeschlossen. Bedingt durch die senkrechte Orientierung der Thallusäste war hier die abschwächende Wirkung, trotz schwarzer Thallusfärbung, geringer. Die Lichtabschwächung durch *U. antarctica* war schwächer als bei den anderen beiden Flechten. Nur selten wurde eine Lichtreduktion von über 99 % festgestellt, was wohl an der geringeren Thallusdichte und der vertikalen Thallusorientierung liegt .

### 3.1.2.7 Lichtbedingungen für Moose unter Strauchflechten

Von den verschiedenen Moosen, die unter einer Strauchflechtenschicht angetroffen wurden, waren bei vier Arten auch abgestorbene Bestände in größerem Ausmaß festgestellt worden. Neben dem Lebermoos *Barbilophozia hatcheri* handelte es sich um die drei Laubmoose *Chorisodontium aciphyllum*, *Polytrichum alpinum* und *Sanionia uncinata*. Während das Lebermoos seinen Verbreitungsschwerpunkt im Untersuchungsgebiet gerade unter Flechten hatte, waren die drei Laubmoose mehr auf unbeschatteten Flächen präsent oder sogar dominant.



**Abb. 3.15:** Histogramme der Lichtbedingungen von unter Strauchflechten häufig vorkommenden Moosen anhand der während der Strukturanalysen aufgenommenen Lichtwerte.



Die Abbildung 3.15 zeigt die Ergebnisse der räumlichen Lichtmessungen unter Flechtenbeständen. Insgesamt wurden für die Auswertung 2632 Art/Rasterfeld-Nennungen herangezogen. Doppelte Nennungen, wie z.B. das gleichzeitige Vorkommen lebender und toter Pflanzen, waren möglich. Insgesamt war weniger als die Hälfte aller durch Flechten abgeschatteten Rasterfelder (gemessen: 5840 cm<sup>2</sup>) von diesen Arten besiedelt. Besonders unterhalb von *U. antarctica* war die Besiedlung spärlich.

Von den abgeschatteten Beständen von *Barbilophozia hatcheri* war nur ein sehr geringer Teil (6,7 %) tot. Vergleicht man die Verteilung der für dieses Lebermoos gemessenen Lichtstufen mit der durch *U. aurantiaco-atra* bewirkten Minderung, so läßt sich eine deutliche Diskriminierung der besonders lichtarmen Bereiche (< 1 % des Umgebungslichts) feststellen. Gleichwohl kam trotz starker Abschattung auch hier dieses Moos noch vor.

Bei *Chorisodontium aciphyllum* standen den lebenden Vorkommen auf 411 cm<sup>2</sup> tote Bestände auf 445 cm<sup>2</sup> gegenüber. Auch in Schwachlichtbereichen (<1 % rel. Lichtgenuß) kam dieses Moos noch vor, doch im Vergleich zur Durchlässigkeit von *Usnea aurantiaco-atra* als hauptsächlich abdeckender Flechte, wurden die dunkelsten Bereiche deutlich „gemieden“. Aus dem Spektrum der Lichtverteilung für abgestorbene Bestände wird deutlich, dass die Schwachlichtbedingungen für *C. aciphyllum* problematisch sind. Für ungünstige Bedingungen spricht auch das in etwa paritätische Verhältnis von lebenden zu toten Bereichen.

*Polytrichum alpinum* war abgeschattet mit 571 cm<sup>2</sup> gegenüber 440 cm<sup>2</sup> weit häufiger tot als lebend anzutreffen gewesen. Anhand der Beblätterung ließ sich schließen, dass die Pflanzen in der Regel schon nach einem Jahr gestorben waren. Dass es sich dabei nur um Ausläufer (siehe z.B. SMITH 1978) von unbeschatteten, vitalen Beständen handelte, ist aufgrund eigener Beobachtungen auszuschließen. Die ermittelten Lichtbedingungen von lebenden Beständen von *P. alpinum* wiesen ein ähnliches Spektrum auf wie bei *B. hatcheri*. Wahrscheinlich lagen die Messwerte, die in Höhe der Bodenoberfläche gemessen wurden, deutlich unter den realen Lichtwerten für *Polytrichum alpinum*, was sich durch sein Stämmchen nur ca. 1 cm innerhalb der Flechten befand. Trotzdem ließ sich in den dunkelsten Bereichen eine relative Häufung abgestorbener Thalli feststellen.

Bei dem pleurokarpem Moos *Sanionia uncinata* standen den lebenden Vorkommen auf 268 cm<sup>2</sup> abgestorbene Thalli auf nur 53 cm<sup>2</sup> gegenüber. Schon die im Vergleich

zu unbeschatteten Flächen sehr geringe Präsenz dieses Moores legt den Schluß nahe, dass Abschattung bzw. Feuchtigkeitsverhältnisse im Unterwuchs kaum toleriert werden. Unter lichtarmen Verhältnissen fällt *S. uncinata* quasi aus.

### 3.1.3 Ansiedlung und Größenverteilung von Strauchflechten

Die Größenverteilung kann bei Pflanzen Hinweise auf die Altersstruktur der Bestände liefern. Bei der Lichenometrie wird die Größe von Flechtenthalli zur Abschätzung des Alters der Flechten und damit zur Altersbestimmung von Moränen, Lawinenfeldern oder Gebäuden herangezogen (z.B. BESCHEL 1950). Die Ermittlung der Größenstruktur sollte bei dieser Arbeit aber nicht zur Bestimmung der absoluten Alter führen, sondern durch den Vergleich der einzelnen Größenklassen zueinander Abschätzungen zu Ansiedlungs- und Mortalitätsraten liefern.

Die drei Transekte auf der Fildes Halbinsel wurden jeweils so gewählt, dass *Usnea aurantiaco-atra* die häufigste Flechte war. Von ihrem Vegetationscharakter und auch in der Untergrundbeschaffenheit (Tab. 3.2) unterschieden sich die Transekte jedoch erheblich.

**Tab. 3.2:** durchschnittliche Verteilung der Korngrößen (in %) an der Oberfläche des Untergrundes in den drei Transekten auf der Fildes Halbinsel

	tonig	< 2mm	<10 mm	<50 mm	<100 mm	≥ 100 mm
F2	1,3	5,8	66,2	19,2	3,0	4,5
F3	0,0	0,0	2,7	95,7	1,6	0,0
F4	1,3	23,8	58,5	11,4	2,1	2,9

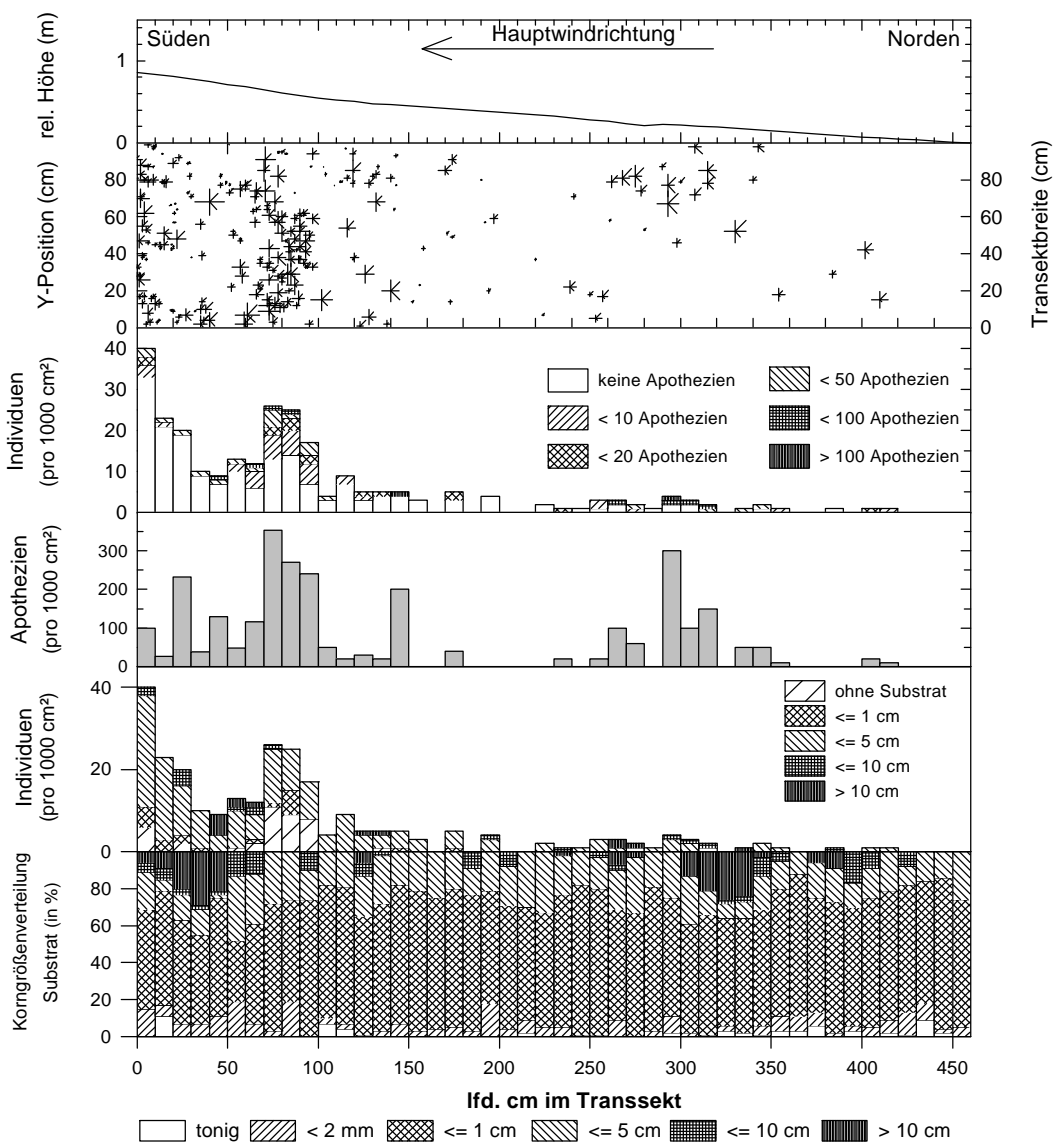
#### 3.1.3.1 erstes Transekt zur Größenverteilung (F2)

Abbildung 3.16 zeigt die Ergebnisse nordexponierten Transektes F2 an der Flanke einer flachen Moränenkuppe. Das Transekt verlief in Süd-Nordrichtung und war bei einer Gesamtlänge von 460 cm in zwei Teile untergliedert, wovon der erste, obere Teil bis cm 100 reichte und neben stärkerer Neigung durch einen erhöhten Anteil größerer Steine ausgezeichnet war. Im anschließenden unteren Teil war die Neigung etwas geringer. Größere Steine waren dort hauptsächlich zwischen den Transektzentimetern 300 und 350 anzutreffen.

Die Zweiteilung des Transektes spiegelt sich in dem Auftreten von *Usnea aurantiaco-atra* wieder, die eine Gesamtdeckung von 30,4 % erreicht. Im oberen Teil wurde durch hohe Individuendichten mit Thalli aller Größenklassen eine Abdeckung von 91 % erreicht; dabei berührten sich viele Thalli gegenseitig oder waren sogar ineinander verwoben. Die hohen Individuenzahlen kamen aber auch aufgrund von Zusammenballungen von kleinen Thalli zustande, die häufig in der unmittelbaren

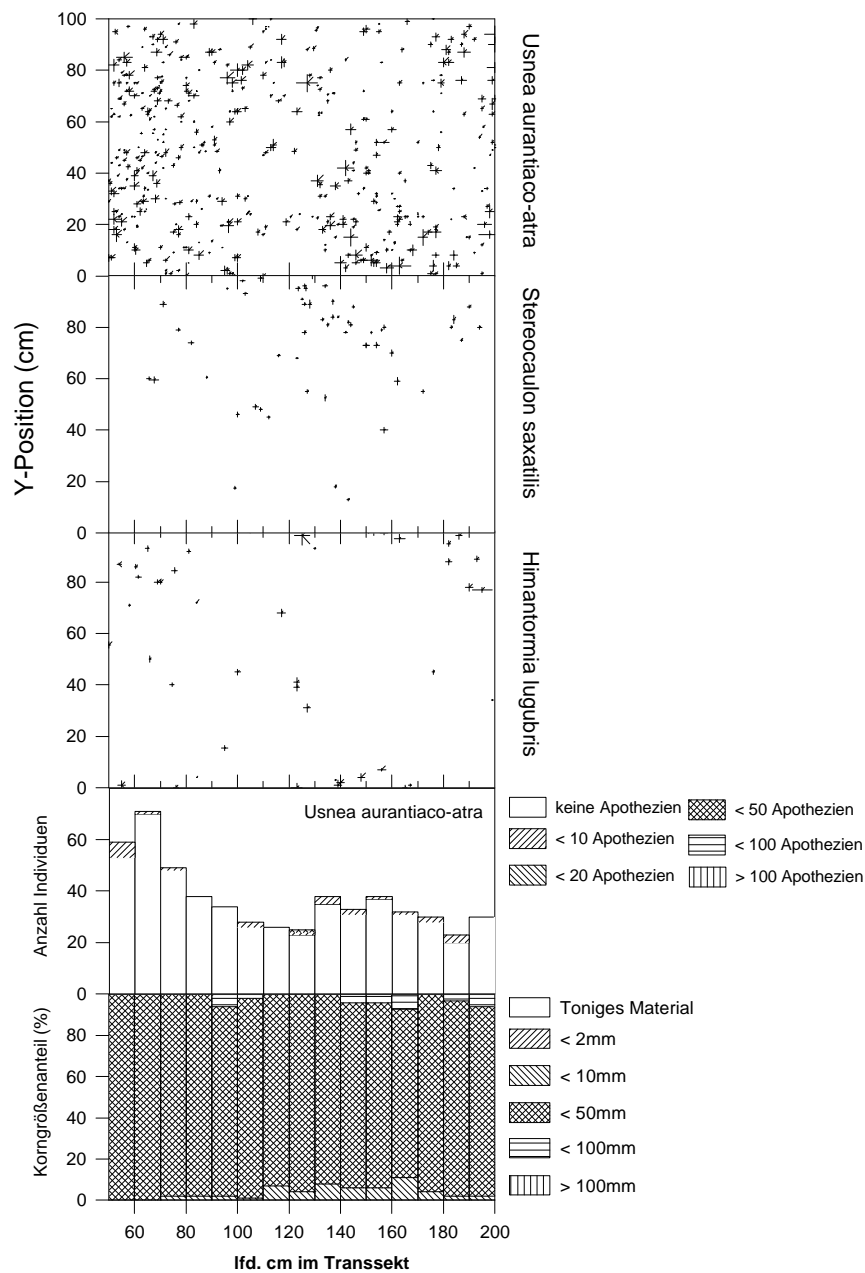
Umgebung einer großen Flechte lagen. Der Apothezienerfolg war mit 1500 Apothezien/qm sehr hoch. Vorhandenes stabiles Substrat war meist nur lückig bedeckt.

In der Grenzzone zwischen den beiden Transekteilen war eine Zone mit dichtestem Flechtenbewuchs zu erkennen. Hier fehlten junge (kleine) Thalli weitgehend, dafür wurde eine dichte Matte aus zahlreichen an Steinen festgehefteten und niederliegenden Thalli gebildet, an denen teilweise noch der verschwärzte Festheftungs- punkt sichtbar war. In der unteren Zone ab cm 100 traten dann nur noch vereinzelt besiedelte Steine auf. Diese waren im Durchschnitt größer als im oberen Teil, doch



**Abb. 3.16:** Verteilung, Größe und Apothezienerfolg von *Usnea aurantiaco-atra* und die Korngrößenverteilung des Bodens im Transekt F2 (Fildes Halbinsel). Die Signaturen in der oberen Graphik geben die Größe und die Apothezienzahl an: die senkrechten und waagerechten Striche markieren maßstabsgetreu die horizontale Ausdehnung des Thallus, der Strich nach rechtsoben gibt die Thallushöhe maßstabsgetreu wieder. Der Strich nach rechtsunten gibt das Vorkommen von Apothezien an.

auch hier war das Substrat nur unvollständig besiedelt (Abdeckung von 9,9 % der Fläche). Generell waren die Flechten aber größer und trugen mehr Apothezien als im oberen Transektabschnitt, hingegen traten junge Thalli im Vergleich zur potentiell besiedelbaren Oberfläche seltener auf. Aufgrund der dünnen Besiedlung wurden durchschnittlich 260 Apothezien/qm festgestellt.



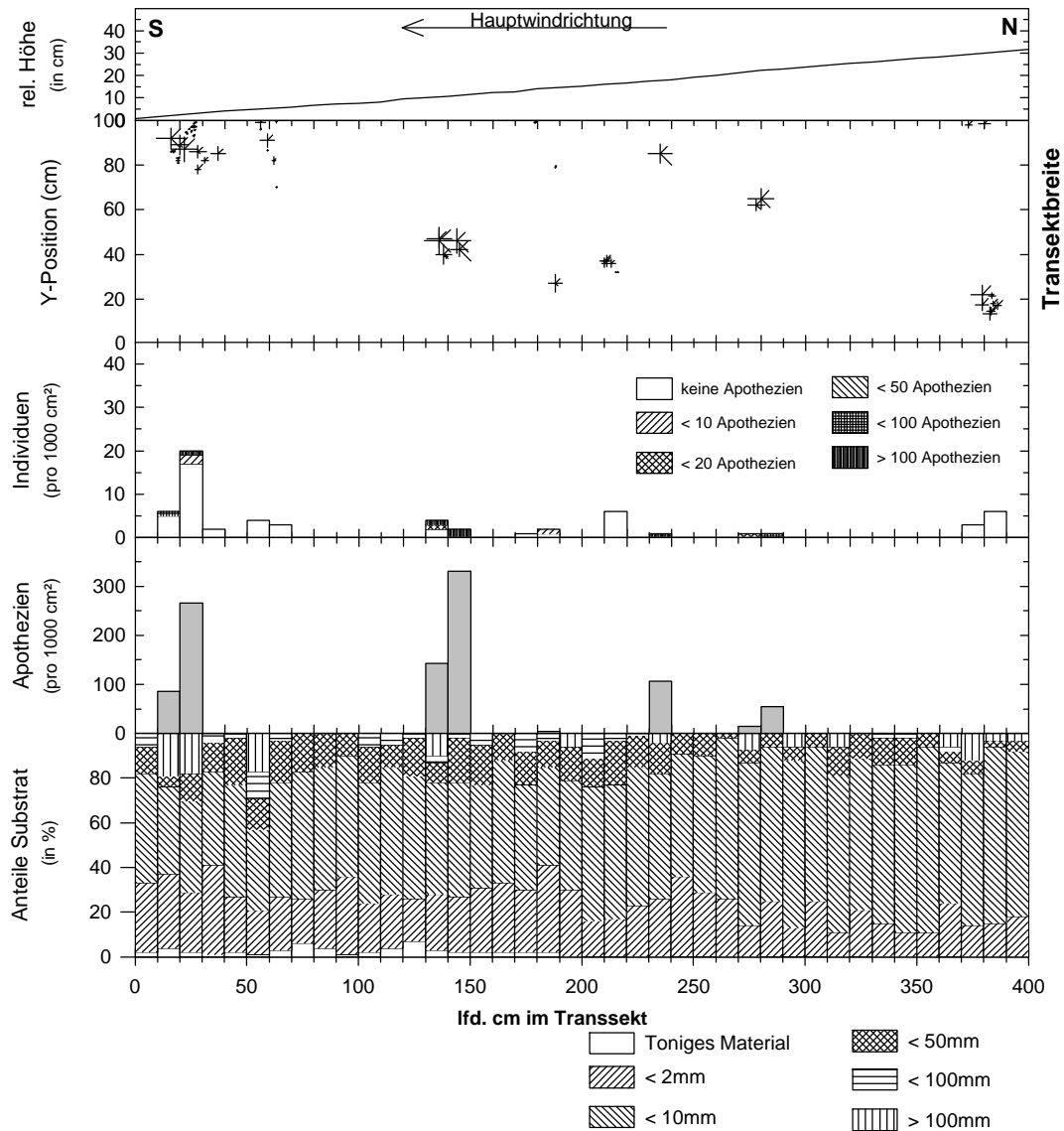
**Abb. 3.17:** Verteilung, Größe und Apothezienerfolg von *Usnea aurantiaco-atra*, *Himantormia lugubris* und *Stereocaulon saxatilis* sowie die Korngrößenverteilung des Bodens im Transekt F3 (Fildes Halbinsel). Die Signaturen in der oberen Graphik geben die Größe und die Apothezienzahl an: die senkrechten und waagerechten Striche markieren maßstabsgetreu die horizontale Ausdehnung des Thallus, der Strich nach rechtsoben gibt die Thallushöhe maßstabsgetreu wieder. Der Strich nach rechtsunten gibt das Vorkommen von Apothezien an.

### 3.1.3.2 zweites Transekt zur Größenverteilung (F3)

Der zweite Transekt, F3, unterschied sich auf verschiedene Weise vom ersten. Das Substrat war relativ homogen aus Kies (<50 mm) aufgebaut (Tab. 3.2, Abb. 3.17), Feinkies und größere Steine kamen nur in geringen Anteilen vor, während große Steine und die Sand und Tonfraktion völlig fehlten. Die Neigung war mit durchschnittlich 10,7 ° etwas größer als bei F2, aber es verlief in Nord-Südrichtung. Turbate Prozesse ließen sich nicht erkennen; Krustenflechten lecidoiden Types waren auf den meisten Steinen vorhanden. Es traten die drei Strauchflechten, *U. aurantiaco-atra*, *H. lugubris* und *Stereocaulon saxatilis* (Deckung 20,9 %; 3,1 % und 1,4 %) mit einer Gesamtdeckung von 25,3 % auf.

Das Vorkommen von *U. aurantiaco-atra* unterschied sich augenfällig von den im F2 beobachteten. Im ganzen Transekt wurden hohe Individuendichten beobachtet, die mit bis zu 70 Individuen pro 1000 cm<sup>2</sup> (=10 cm langer x 100 cm breiter Transektabschnitt) über 50 % höher lagen als die maximale Dichte von Transekt F2. Dabei handelte es sich in der Hauptsache um kleine Individuen. Apothezien waren aufgrund der Kleinheit der Thalli nur selten vorhanden; und wenn, dann handelte es sich um weniger als 10 pro Thallus. Größere Thalli waren abgeflacht. Teilweise saßen die Festheftungspunkte seitlich an den Steinen, bisweilen wurden Thallusteile sogar teilweise von den Steinen überdeckt. Ähnliches ließ sich bei der ebenfalls vorkommenden *H. lugubris* beobachten.

Somit muss trotz fehlender Feinfraktion und dem Krustenflechtenbewuchs davon ausgegangen werden, dass an der Hangoberfläche kryogene Bewegungen stattfanden, die zwar eine Besiedlung mit Strauchflechten erlaubten, aber nur eine kurze Lebensdauer ermöglichten. Somit war dieser untersuchte Standort zwar günstig für die Ansiedlung, aber die Möglichkeit zur Fortpflanzung war mit 43 Apothezien/qm aber gering.



**Abb. 3.18:** Verteilung, Größe und Apothezienerfolg von *Usnea aurantiaco-atra* sowie die Korngrößenverteilung des Bodens im Transekt F4 (Fildes Halbinsel). Die Signaturen in der oberen Graphik geben die Größe und die Apothezienzahl an. Die senkrechten und waagerechten Striche markieren maßstabsgetreu die horizontale Ausdehnung des Thallus, der Strich nach rechtsoben gibt die Thallushöhe maßstabsgetreu wieder. Der Strich nach rechtsunten gibt das Vorkommen von Apothezien an.

### 3.1.3.3 drittes Transekt zur Größenverteilung (F4)

Im dritten Transekt (Abb. 3.18) war *Usnea aurantiaco-atra* die einzige Strauchflechte. Bei einer Gesamtlänge von 400 cm mit einem schwachen Südgefälle ( $\varnothing$  4,4) war es extrem dünn besiedelt; nur 6,2 % der Fläche wurden abgedeckt. Das Substrat hatte einen hohen Anteil an Sand und Ton (15-40 %), als Hauptbestandteil wurden Korngrößen um 10 mm festgestellt. Größere Steine kamen als „Inseln“ nur an wenigen Stellen vor. Das Substrat machte einen instabilen Eindruck, nicht nur in Hinsicht auf Kryoturbation, sondern auch in Bezug auf Windverfrachtung und insbesondere Verwitterung.

Das Auftreten von Flechten war streng an das Vorkommen größerer Steine, meist mit über 100mm Durchmesser gebunden. Dabei waren alle Größenklassen von Thalli vertreten und Apothezien kamen an einzelnen Thalli teilweise sehr zahlreich vor. Aufgrund der dünnen Besiedelung wurde eine Apotheziendichte von ca. 250/qm erreicht, was der vom basalen Teil von F2 entspricht.

#### 3.1.3.4 Flechtengröße, Gesteinsgröße und Fruchterfolg

Ein direkter Zusammenhang zwischen Apothezienansatz und Thallusgröße kann vermutet werden, da bekanntermaßen nur größere Exemplare fruchten. Die Relation zwischen Gesteinsgröße, Thallusgröße und Fruchterfolg hingegen ergibt sich aus der Tatsache, dass in einem kryoturbaten System verschiedene Gesteinsgrößen unterschiedlich mobil sind.

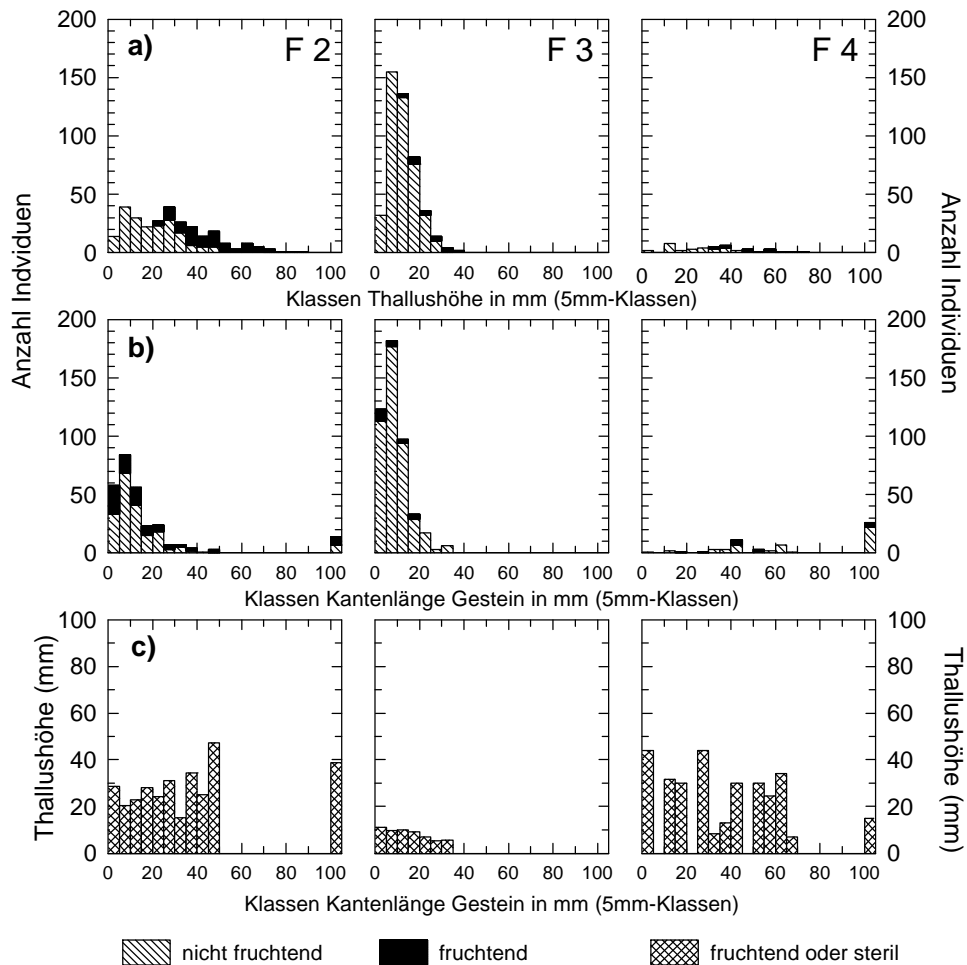
Die Abb. 3.19a zeigt die Verteilung der Thallushöhen der verschiedenen Transekte. Beim Transekt F2 sind nur wenig kleine Thalli (<5 mm) vorhanden gewesen, in den Größenklassen bis 35 mm ist kein klarer Trend zu erkennen, wohingegen oberhalb von 35 mm Größe bis zu den größten gemessenen Exemplaren von über 85 mm ein deutlich abnehmender Trend zu beobachten war. Apothezienbildung setzte oberhalb von 20 mm Größe ein, wobei mit zunehmender Thallusgröße der Anteil fruchtender Exemplare zunahm. Ab 50 mm Größe trugen alle Thalli Apothezien.

Bei Transekt Nr. 2 waren die weitaus meisten Thalli zwischen 5 und 15 mm hoch. Größte Thalli erreichten 40 mm Höhe. Apothezien waren schon ab 10 mm Thallushöhe zu beobachten, was aber durch den Umstand zustande kam, dass die wenig verzweigten Thalli flachgedrückt waren.

Das dritte Transekt war zwar sehr individuenarm, es wurden aber Thallushöhen bis 75mm gemessen. Thalli größer als 45 mm trugen immer Apothezien, die kleinsten fruchtenden Exemplare lagen in der Größenklasse von 30–35 mm.

Man könnte nun annehmen, dass möglicherweise das Vorkommen von *Usnea aurantiaco-atra* auf größere Steine beschränkt war und Mangel an stabilem Substrat die Ansiedlung behinderte. Auch wäre denkbar, dass kleinere Steine zwar zur Ansiedlung genügen, aber später nicht in der Lage sind, genügend Halt für große Thalli zu bieten.





**Abb. 3.19:** a) Thallusgrößenverteilung von *Usnea aurantiaco-atra* der drei Transekte F2, F3, F4. b) Größe der von *U. aurantiaco-atra* besiedelten Steine (3.te Wurzel aus dem Volumen= Kantenlänge Gestein). c) Gesteinsgröße (wie bei b. ermittelt) vs. Thallushöhe von *U. aurantiaco-atra*.

Die Abbildung 3.15b belegt jedoch, dass es keinen strengen Zusammenhang zwischen Gesteinsgröße und der Ansiedlung von Flechten gab. Die meisten Thalli wurden auf Steinen mit weniger als 2 cm Kantenlänge gefunden, ca. die Hälfte aller Thalli hafteten gar an Steinen unter 1 cm Kantenlänge. Ein Vergleich mit den Substratvorkommen (Tab. 3.2) zeigt, dass ca. 50 % der Thalli an Steinen mit mindestens 1 cm Kantenlänge fixiert waren, obwohl diese Stein(chen) nur ca. 27 % der Oberfläche bedeckten. Im F3 scheint (vgl. Tab. 3.2) ebenfalls eine Substratdiskriminierung stattgefunden zu haben, allerdings in entgegengesetzter Richtung! Zwar waren viele Substratpartikel nahe bei 1 cm<sup>2</sup> exponierter Fläche, aber generell scheint die benutzte Substratgröße geringer gewesen zu sein als die vorherrschende. Dieses Verhalten ist nur zum Teil durch Kompatibilitätsprobleme zwischen Bestimmung des Oberflächensubstrates und der exakten Ermittlung der Größe der Festheftungssteine zu erklären. Im Endeffekt ähneln sich damit die Häufigkeitsverteilungsmuster des besiedelten Substrates von F2 und F3 sehr. Im F4

hingegen, welches in seiner Korngrößenverteilung F2 ähnelt, wurden fast ausschließlich größere Steine besiedelt.

Die Abb. 3.19c gibt Aufschluß über die Relationen zwischen Substratgröße und Thallushöhe. Im F2 stieg mit gröber werdenden Substrat die durchschnittliche Thallushöhe leicht an, während im F3-Transekt bei gröberem Substrat die durchschnittliche Thallushöhe abnahm. In F3 erreichten die Thallushöhen weniger als 1/3 im Vergleich zu F2. Im F4 konnte kein Trend ausgemacht werden, da besonders bei feinerem Substrat die Anzahl der Individuen für eine verlässliche Mittelwertbildung zu gering war.

## 3.2 Mikroklima

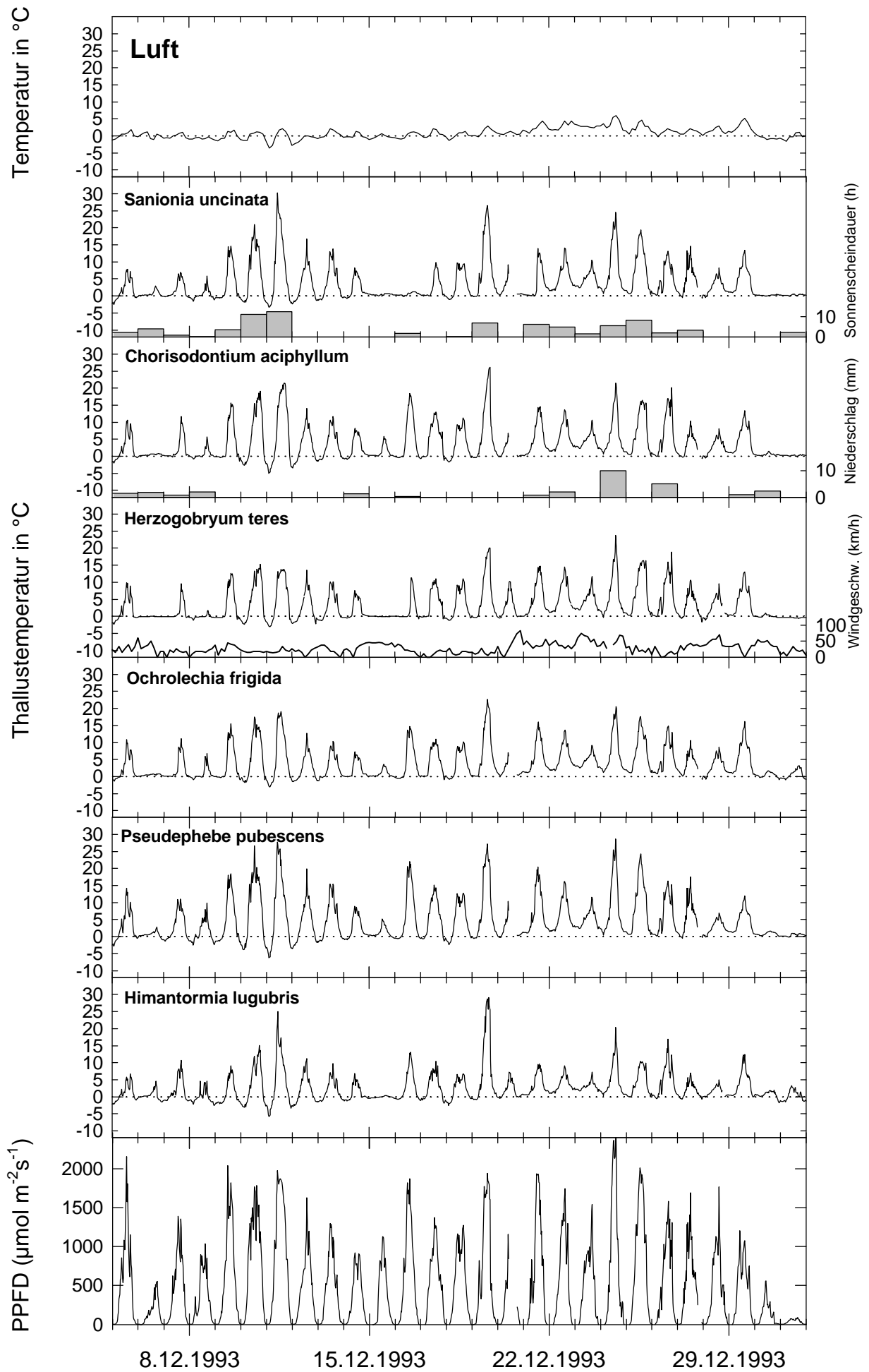
### 3.2.1 Vergleich von Wuchsformen und Pigmentierung

Während der 2-3 Sommermonate, in denen die mittlere Lufttemperatur über 0 °C liegt, läßt sich in der maritimen Antarktis im allgemeinen keine Aspektveränderung in der Pflanzendecke beobachten. Aus jüngeren Untersuchungen ist bekannt, dass zumindest für Flechten diese Zeit nicht die produktivste ist, da längere Perioden der Trockenheit auftreten, während derer nur minimale physiologische Aktivität möglich ist (KAPPEN 1993, SCHROETER *et al.* 1997). Anders liegt der Fall bei Moosen feuchter Standorte, die fast permanent aktiv sein können (SCHLENSOG 2000). Die Messfläche auf der Potter Halbinsel, wo die meisten mikroklimatischen Messungen ausgeführt wurden, ist als eher mesisch einzustufen. Dies bedeutet, dass sowohl Flechten als auch Moose periodisch austrockneten.

Das Mikroklima in verschiedenen, benachbart wachsenden Wuchsformen sollte miteinander verglichen werden.

In Abbildung 3.17. sind die Verläufe der Thallustemperaturen von je drei Moos- und Flechtenarten in der Periode vom 05.12.1993 bis zum 31.12.1993 dargestellt. Zusätzlich wurden Lufttemperatur, Sonnenscheindauer, Niederschläge und Windgeschwindigkeit von der Wetterstation in Jubany in die Grafik aufgenommen. Die Lichtwerte wurden in Höhe der Vegetationsoberfläche gemessen.

Die Lufttemperatur pendelte zu Beginn der Periode bis zum 20. Dezember um den Gefrierpunkt. Tagesmaxima erreichten bis 3 °C, während nächtliche Tiefstwerte von -3,6 °C ermittelt wurden. Nach dem 20. Dezember stieg die Lufttemperatur leicht an, so dass sie bis zum 30. Dezember über dem Gefrierpunkt lagen. Absolutes Tagesmaximum im Dezember war +6,0 °C. Die von der Wetterstation angegebene Sonnenscheindauer belief sich auf 77,5 Stunden, was einen Tagesdurchschnitt von 2,87 Stunden entsprach. In den Messzeitraum fielen auch zwei Tage (10. und 11. Dezember), an denen 11,2 und 12,5 Stunden die Sonne schien. In den 26 Tagen fiel ungleichmäßig verteilt nur 28,4 mm Niederschlag, am 6.12., 14.12. und 30.12 hauptsächlich als Schnee. Die mittlere Windgeschwindigkeit über die gesamte Messperiode lag mit 28,4 km/h auch für die maritime Antarktis ungewöhnlich hoch. Besonders nach dem 20. Dezember waren sehr windige Tage aufgetreten, die einerseits recht warm und sonnig waren, an denen aber auch der meiste Niederschlag fiel.



Unter den zuvor geschilderten Bedingungen wurden bei dem teppichbildenden Moos *Sanionia uncinata* nur kurze Frostperioden zu Messbeginn festgestellt, da durch die abschmelzende Schneedecke eine Temperaturstabilisierung erfolgte. Tiefste (-3,3 °C) und höchste Temperaturen (30,2 °C) wurden innerhalb von 24 Stunden in der Ausstrahlungs/Einstrahlungssituation am 11. Dezember gemessen. An bedeckten Tagen erreichten die maximalen Thallustemperaturen zwischen 10 und 15 °C. Nach den Schneefällen am Abend des 14.12. und des 30.12. traten mehrtägig nur geringfügig von Gefrierpunkt abweichende Thallustemperaturen auf.

Bei *Chorisodontium aciphyllum*, einem Hochrasen, der aber polsterartig wächst, waren etwas schwächere Temperaturschwankungen während des Messzeitraumes zu beobachten. Hier wurden am 19.12. das absolute Maximum mit 26,1 °C gemessen, während in der kältesten Nacht vom 10. zum 11. Dezember das Moos mit -5,1 °C deutlich unter die Lufttemperatur abkühlte. Stabilisierung der Temperaturen nach Schneefällen ließ sich zu Beginn und zu Ende der Messungen beobachten, während am 15.12. schon am Tag nach dem Schneefall wieder eine deutliche Tagesamplitude zu vermerken war. Bedingt durch die starken Winde fielen die Tagestemperaturen nach dem 20.12. relativ niedrig aus. Am 25. und 26. Dezember flauten die Winde vorübergehend etwas ab, was bei allen Moosen zu leicht erhöhten Temperaturen führte.

Das schwärzliche Lebermoos *Herzogobryum teres* hatte trotz seiner Färbung den gesamten Messzeitraum über eine wenig ausgeprägte Temperaturamplitude. Am 24.12. wurde kurzfristig Temperaturen von 23,8 °C erreicht, sonst lagen die Maxima zwischen 10 °C und 20 °C. Als kälteste Temperatur wurde -3,0 °C gemessen. Während der drei Schneeperioden erfolgte immer eine Stabilisierung der Temperatur auf den Gefrierpunkt.

Die epibrye, weiße Krustenflechte *Ochrolechia frigida* ähnelt in ihrem Temperaturverhalten *Chorisodontium aciphyllum*, welches bei dem gemessenen Thallus auch das Substrat für die Flechte darstellte. Die Temperaturverläufe hatten insgesamt eine moderate Amplitude; die höchste gemessene Temperatur war 22,6 °C, die niedrigste lag bei -3,0 °C. Zu Beginn der Messkampagne trat eine Temperaturstabilisierung

---

**Abb. 3.20 (vorige Seite):** Zeitlicher Verlauf des Mikroklimas von den drei Moosarten *Sanionia uncinata*, *Chorisodontium aciphyllum* und *Herzobryum teres* und dreier Flechtenarten *Ochrolechia frigida*, *Pseudephebe pubescens* und *Himantormia lugubris* während des antarktischen Sommers 1993/94. Lufttemperatur, Sonnenscheindauer und Niederschlag stammen von der argentinischen meteorologischen Station in Jubany.

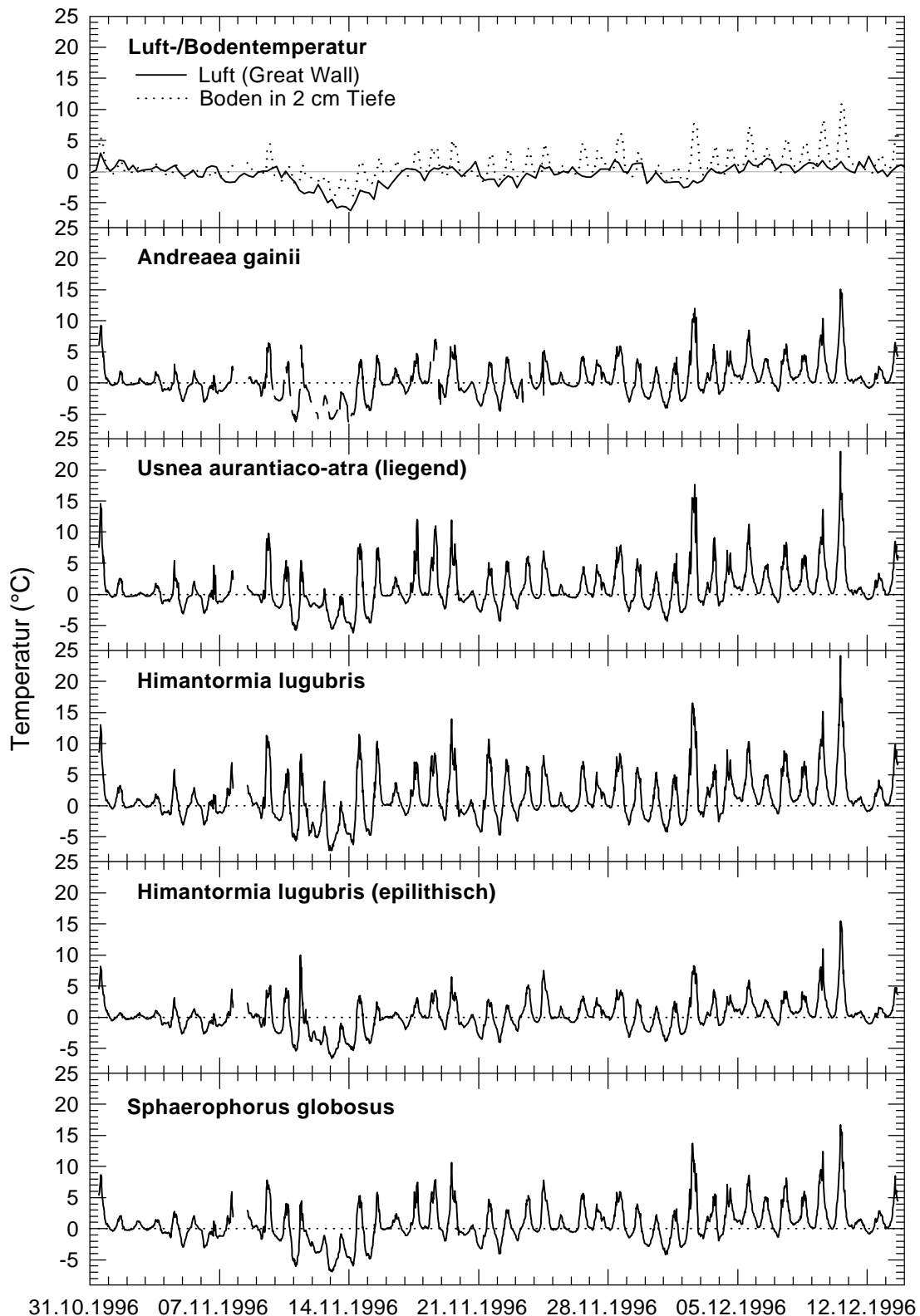
durch Schneebedeckung auf, später jedoch fehlte eine Schneedecke womit die Temperaturen zwischen +5 °C und –1 °C schwanken konnten.

Die Temperatur der dunkelbraun bis schwarzen Strauchflechte *Pseudephebe pubescens* wies allgemein starke tägliche Schwankungen auf. In der kältesten Nacht wurden –6,2 °C gemessen, die höchsten Thallustemperaturen wurden am folgenden Tag ermittelt (+28,7 °C). Auch nach den Schneefällen schwankten die Thallustemperaturen deutlich und des nächstens wurde teilweise der Gefrierpunkt unterschritten.

Ebenfalls sehr dunkel gefärbt war die Strauchflechte *Himantormia lugubris*, die aber im Gegensatz zu *P. pubescens* in der Regel nur geringen täglichen Temperaturschwankungen unterlag. Als Maximalwerte wurden bei klarem Wetter +29,1 °C und -5,8 °C ermittelt. Am 19.12., als die höchsten Temperaturen gemessen wurden, herrschte fast Windstille. Da es Tage gab, an denen mehr Strahlung gemessen wurde und die Lufttemperatur höher lag (24.12. und 25.12) aber eine stärkerer Wind wehte, ist Wind als dämpfender Faktor für die Temperaturen anzunehmen. Nach Schneefällen ließ sich am 15.12. eine Stabilisierung um den Gefrierpunkt beobachten.

Die dargestellten Temperaturverläufe der Strauchflechten und Moose von der Potter Halbinsel zeigen, dass bei einer geschlossenen Vegetationsdecke auch im Sommer die mögliche Schneebedeckung einen deutlichen Einfluss auf die Thallustemperaturen von Moosen nimmt, während bei Strauchflechten nur schwache Veränderungen auftraten. Unterschiede zwischen den beiden dunkel gefärbten Strauchflechten waren größer als zwischen verschiedenen Wuchsformen oder Färbungen.

Auf der Fildes Halbinsel wurde von Ende Oktober 1996 bis Mitte Dezember ein ähnlicher Versuch aufgebaut (Abbildung in Anlage c). Dabei wurden insgesamt drei Flechten- und eine Moosart gemessen. Terrestrische *Himantormia lugubris*, liegende *Usnea aurantiaco-atra* und *Andreaea gainii* wuchsen unmittelbar benachbart. Ziel der Untersuchung war es, die biogene Veränderung des Mikroklimas an einem Standort zu erfassen. Zum Vergleich wurden außerdem noch epilithisch wachsende *H. lugubris* und *Sphaerophorus globosus* gemessen. Während viele Standorte in der Umgebung zu Messbeginn schneebedeckt waren, waren alle Messobjekte schon schneefrei.



**Abb. 3.21:** Lufttemperatur und Thallustemperaturen von dem Moos *Andreaea gainii* und den Strauchflechten *Usnea aurantiaco-atra*, *Himantormia lugubris* und *Sphaerophorus globosus*. Messungen im Sommer 1996/97 auf der Fildes Halbinsel.

Die Abbildung 3.21 zeigt die Temperaturverhältnisse vom 31.10. bis 14.12.1996. Die Lufttemperatur schwankte in diesem Zeitraum zwischen  $-6,3$  °C und  $+3,0$  °C bei einer Mitteltemperatur von  $-0,37$  °C. Mitte November wurde eine ca. einwöchige Kälteperiode registriert. Die Bodentemperatur (2 cm Tiefe, vegetationsfrei) in dem

Messzeitraum lag im Mittel bei 0,76 °C. Das Minimum von –4,0 °C wurde während der Kälteperiode gemessen. Die täglichen Maxima stiegen über die Messperiode an, wobei am 10. Dezember, einem verhältnismäßig windarmen Tag, das absolute Maximum von 11,0 °C Bodentemperatur erreicht wurde. Die Niederschläge fielen überwiegend als Schnee an 33 der insgesamt 44 Messtage (siehe nachfolgender Abschnitt, Abb. 3.28).

Das Moos *Andreaea gainii* wuchs leicht eingesenkt zwischen Steinen von 5 bis 10 cm Durchmesser. Sowohl die tägliche als auch die gesamte Temperaturamplitude wiesen einen geringen Hub auf. Die tiefste gemessene Temperatur lag mit –6,2 °C knapp über der tiefsten Lufttemperatur, jedoch war in mehreren Nächten eine deutliche Unterschreitung sowohl der Luft- als auch der Bodentemperatur festzustellen. Nur zu Anfang November war eine schwache nächtliche Stabilisierung der Temperaturen auf den Gefrierpunkt zu beobachten. Die maximale Temperatur wurde erst im Dezember gemessen und fiel mit +15,1 °C recht niedrig aus. Die mittlere Thallustemperatur war mit 0,49 °C ebenfalls niedrig (trotz fehlender Werte aus der Kälteperiode).

Die Temperaturverläufe von liegender *Usnea aurantiaco-atra* und terrestrisch wachsender *Himantormia lugubris* waren sehr ähnlich. Noch im Oktober wurden Thallustemperaturen über 10 °C gemessen, später erreichten diese bei klarem Wetter Tagesmaxima 23,0 bzw. 24,1 °C. Nächtliche Temperaturen fielen bis auf –6,2 bzw. –7,2 °C. Auch bei den mittleren Thallustemperaturen (0,97 bzw. 1,31 °C) wichen beide Arten etwas voneinander ab. Unabhängig von der Art der Niederschläge war deren Einwirkung auf den Temperaturverlauf kaum festzustellen. Die epilithischen Bestände von *H. lugubris* waren an einer vertikalen, nordexponierten Fläche eines kleinen Felsens in ca. 1 m Entfernung zu dem vorigen Standort lokalisiert. Hier wurde eine minimale Temperatur von –6,6 °C gemessen. Im Dezember wurden +10 °C an zwei Tagen überschritten, wobei maximal +15,4 °C gemessen wurden. Die mittlere Thallustemperatur lag auch hier mit +0,26 °C noch deutlich oberhalb der Lufttemperatur. Bedingt durch den Standort war der Thallus während der Messungen nie schneebedeckt, wodurch Stabilisierungseffekte durch Schnee auch nicht zu erwarten waren.

Bei der in sehr kompakten „Kissen“ wachsenden Strauchflechte *Sphaerophorus globosus* schwankte die Temperatur zwischen –7,0 °C und +16,7 °C. Die Mitteltemperatur wurde mit 0,76 °C bestimmt. Ebenso wie bei den anderen



Strauchflechten lässt sich ein Einfluss von Schneebedeckung der Temperaturkurve nicht entnehmen.

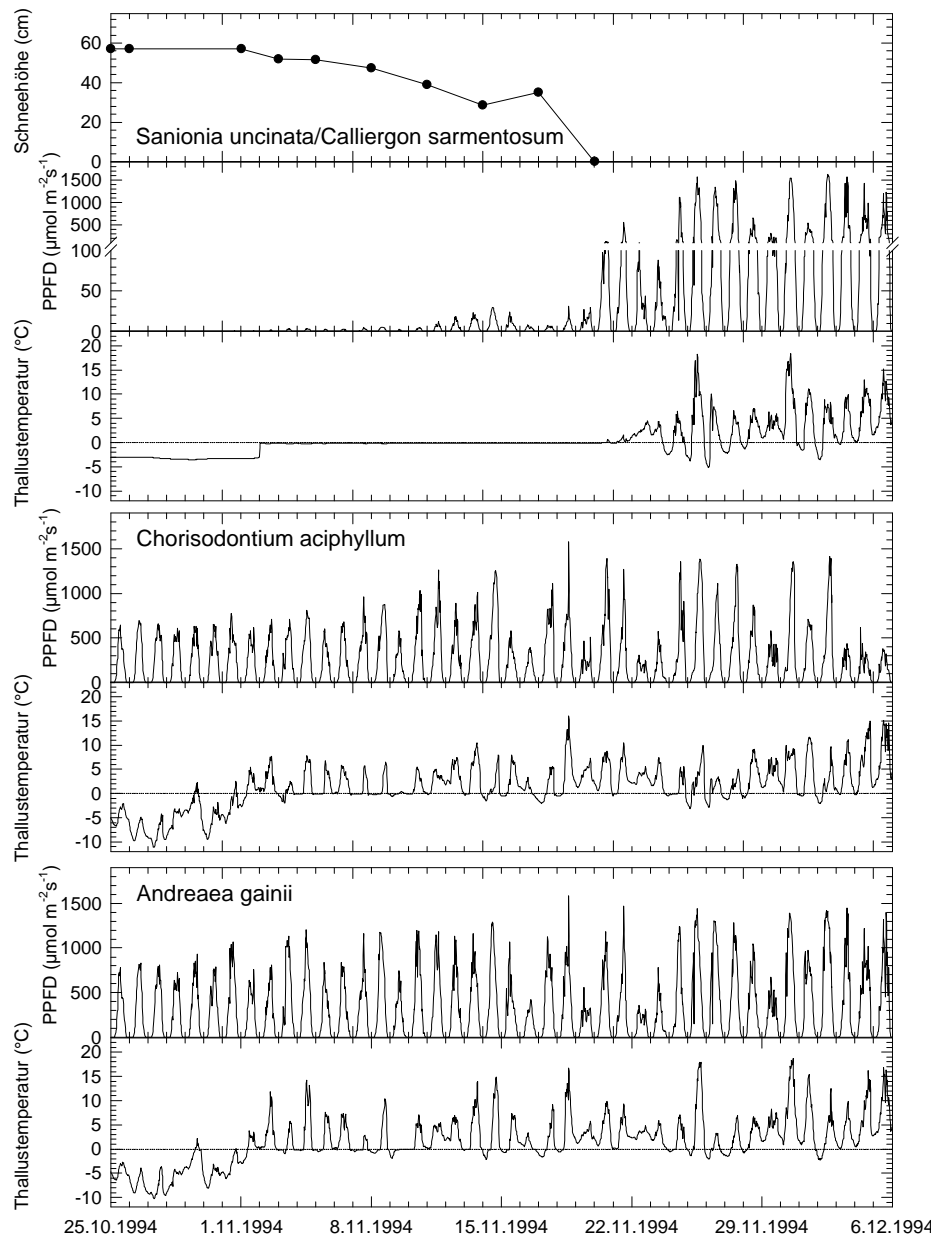
Aus den hier gezeigten Messungen wird deutlich, dass ein unterschiedlicher Standort einen wesentlich stärkeren Einfluss auf die Temperatur hat, als die Färbung und die Struktur der Flechten. Von den vier gemessenen Arten zeigten sich die größten Unterschiede in allen Kenngrößen der Temperatur zwischen den terrestrischen und epilithischen Beständen von *H. lugubris*. Auch die Lage der Maxima und die Relationen der einzelnen Maxima zueinander erscheint auf dem epilithischen im Vergleich zu den terrestrischen Standorten deutlich verändert. So erreicht *H. lugubris* z.B. am 2. Dezember nur sein vierthöchstes Maximum während bei allen Objekten terrestrischer Standorte ihr zweithöchstes Maximum erreichten. Wichtigster erklärender Faktor für dieses Verhalten ist die Windstärke, deren kühlender Einfluß sich besonders am exponierteren, epilithischen Standort auswirkte (am 2.12. betrug die Windgeschwindigkeit um 14°Uhr ca. 40 km/h).

### 3.2.1 Bedingungen während der Ausaperung

Die Schneebedingungen werden häufig für die Ausprägung der Vegetation an alpinen und arktisch/antarktischen Standorten verantwortlich gemacht (z.B. FLOCK 1978, WINKLER 2000). Durch die Schneebedeckung verändern sich standörtliche Faktoren in verschiedener Weise. Als positive Effekte kommen Isolation und Schutz vor Abrasion (KAPPEN 1993) und als negative Effekte starke Lichtreduktion bei gleichzeitiger hoher Feuchte in Betracht (GANNUTZ 1970). Auf der Potter Halbinsel wurde hauptsächlich für Flechten der Zusammenhang zwischen Schneebedeckung und Mikroklima (WINKLER 2000) untersucht. Schnee als möglicher determinierender Faktor für die Struktur der Vegetation war auch in der vorliegenden Arbeit zu berücksichtigen. Es wurden jedoch andere Standorte und schwerpunktmäßig Moose untersucht.

Die Auswahl der Standorte (siehe Abb. 2.3 c) und Arten erfolgte eher zufällig, da die Sensoren aus logistischen Gründen am Ende des Winters installiert werden konnten und somit wegen der Schneebedeckung eine Auswahl der Standorte nur nach den Schneeverhältnissen erfolgen konnte.

In Abb. 3.22 ist der zeitliche Verlauf der Temperatur und Lichtverhältnisse von vier Arten während der Zeit vom 25.10. bis 6.12.1994 zu sehen. Die Messstation war am Fuß einer Blockhalde aufgebaut. *Andreaea gainii* wuchs epilithisch, *Chorisodontium aciphyllum* auf Detritusansammlungen innerhalb der Halde und *Sanionia uncinata*



**Abb. 3.22:** Schneehöhe, Photonenflussdichte und Thallustemperaturen von *Sanionia uncinata* und *Calliergon sarmentosum* am Rande des Schmelzwasserbaches am Fuße der Blockhalde des Three Brother Hills, Potter Halbinsel. Photonenflussdichte und Thallustemperaturen von *Chorisodontium aciphyllum* und *Andreaea gainii* im untersten Bereich der Blockhalde.

und *Calliergon sarmentosum* auf der ebenen Fußfläche in der Nähe eines Schmelzwasserabflusses. Die drei erstgenannten Arten waren schon bei der Installation quasi schneefrei, wohingegen *S. uncinata* und *C. sarmentosum* noch von einer 60 cm mächtigen Schneedecke bedeckt waren.

Für die beiden teppichbildenden Moosarten ließen sich drei deutliche Phasen im Temperaturverlauf feststellen. Bis zum 3. November blieben die Temperaturen deutlich unter dem Gefrierpunkt bei  $-3$  bis  $-4$   $^{\circ}\text{C}$  und zeigten keine diurnalen Schwankungen. Mit dem Beginn der Schneeschmelze am 3. November änderte sich die Temperatur spontan auf  $0$   $^{\circ}\text{C}$  und verblieb dort, ebenfalls ohne tägliche

Schwankungen, bis zum 21.11.1994. In der folgenden Zeit bis zum Messende am 6. Dezember 1994 wurden tägliche Temperaturschwankungen von 5 bis 22 K gemessen. Nachfröste waren ausgeprägt.

Zu Beginn der Messperiode lag die einfallende Strahlung unterhalb der Nachweisgrenze. Bei einer noch ca. 30 cm mächtigen Schneedecke (14.11.1994) wurden dann maximal  $30 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  PPFD gemessen. Bis zum Apertermin wurde dieser Wert kaum überschritten. Innerhalb von drei Tagen schmolz die restliche Schneedecke von 30 cm, womit sich die Lichtverhältnisse schlagartig änderten. Schon zwei Tage nach der Ausaperung wurden Spitzenwerte von  $500 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  PPFD erreicht, später dann  $1600 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  PPFD. Innerhalb von zwei Tagen verzehnfachte sich somit die verfügbare Lichtmenge.

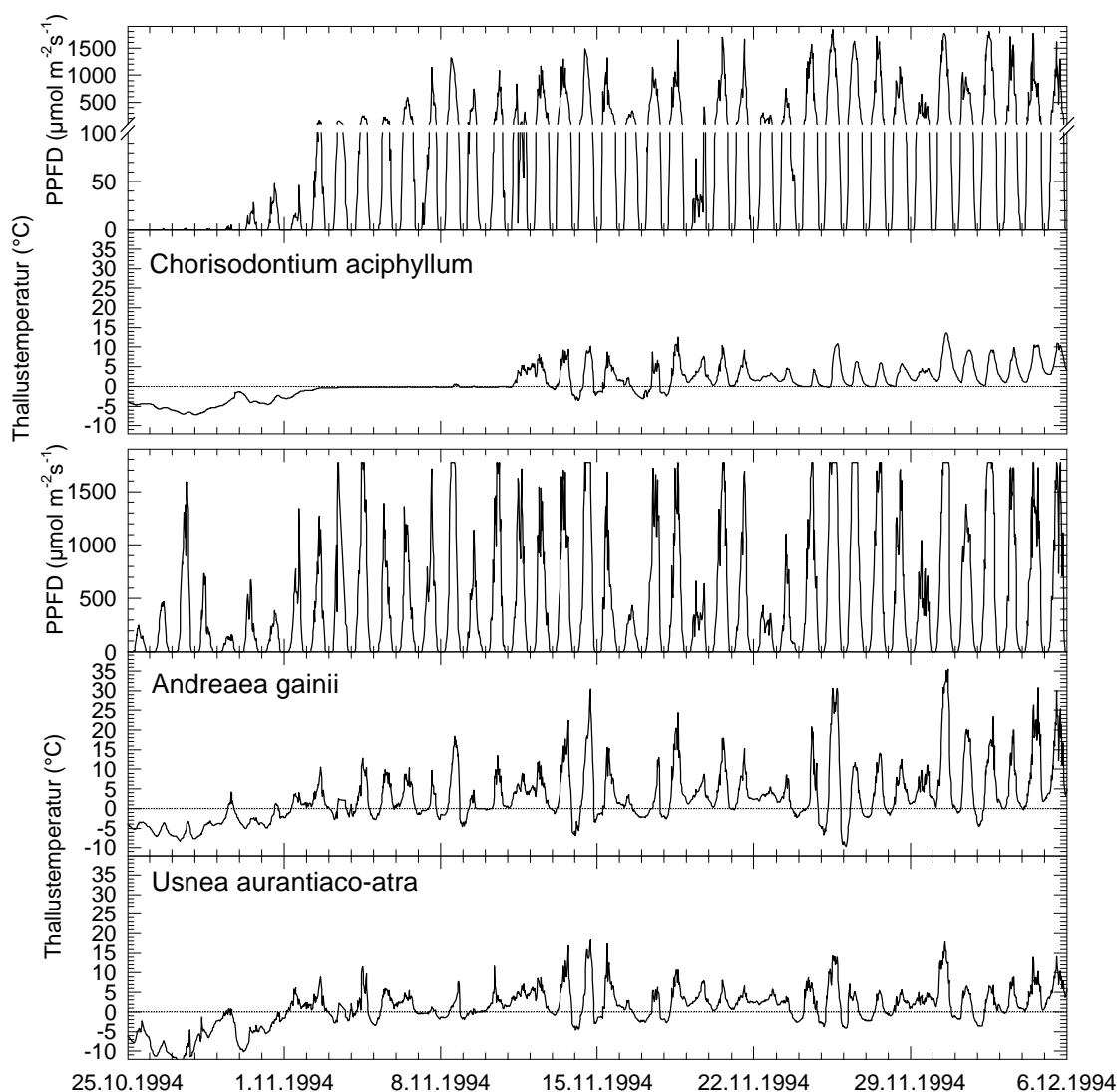
Die Messungen zeigen, dass an tiefer gelegenen, feuchten Standorten, wo *C. sarmentosum* und *S. uncinata* vorkommen, die Bedingungen während der Tauphase fast konstant waren. Mächtigere Schneeschichten waren zu diesem Zeitpunkt ein Schnee/Wasser-Gemisch, was eine Erklärung für Temperaturkonstanz liefert.

In der Blockhalde wuchs *Chorisodontium aciphyllum* in teilweise recht üppigen Kissen, während das Moos in der Senke nicht vorkam. Die Schneehöhe am Standort betrug Ende Oktober ca. 1 cm, so dass die Blättchen teilweise aus dem Schnee herausragten. Durch diese dünne Schneedecke erfolgte keinerlei Dämpfung des Temperaturverlaufes. In der kalten Zeit von Ende Oktober bis zum 2. November wurden minimale Temperaturen von  $-11,2 \text{ }^\circ\text{C}$  gemessen, was leicht über der Lufttemperatur von  $-12,0 \text{ }^\circ\text{C}$  lag. Vor Beginn der Schneeschmelze wurden am 29.10. maximale Temperaturen von  $+2,3 \text{ }^\circ\text{C}$  gemessen. Während der Schneeschmelze traten geringe tägliche Maxima von  $5-6 \text{ }^\circ\text{C}$  auf. Nächtliche Temperaturen fielen kaum unter den Gefrierpunkt, da das Kissen von Schmelzwasser langsam durchströmt wurde. Ab dem 10. November unterschritten die nächtlichen Temperaturen den Nullpunkt. Die folgenden Tagesverläufe zeigten eine mäßige Amplitude, wobei Maximalwerte von  $16,4 \text{ }^\circ\text{C}$  erreicht wurden.

Das epilithisch wachsende Moos *Andreaea gainii* war schon Ende Oktober quasi ungeschützt den Witterungsbedingungen ausgesetzt. Nächtliche Minima erreichten  $-10,3 \text{ }^\circ\text{C}$ . Maximale Temperaturen vor der Schneeschmelze wurden am 29.10. mit  $+2,2 \text{ }^\circ\text{C}$  gemessen. Während der Schneeschmelze erreichten die Temperaturen tagsüber  $+15 \text{ }^\circ\text{C}$ , obwohl zumindest zu Beginn das Moos noch feucht war, wie man aus den stabilen Temperaturen um  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  während der Nächte schließen kann. Ab

dem 10. November wurde der Stein nicht mehr übersickert und die nächtlichen Temperaturen wichen deutlich von Gefrierpunkt ab. Nach der Zeit der Ausaperung wurden maximale Temperaturen von 18,7 °C gemessen. In dieser Periode erreichten Nachtfröste bis -2,3 °C.

Die Lichtwerte sowohl von *Chorisodontium aciphyllum* als auch von *Andreaea gainii* zeigten bis kurz vor Ausaperung der benachbarten tiefsten Landschaftsteile geringere Schwankungen in ihren täglichen Maxima als nach Abschmelzen des Schnees. Maximale Lichtwerte lagen bei ca. 1500  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  PPFD, was niedriger als erwartet war. Dies lag in der Fixierung der Lichtsensoren begründet, die durch ihre leicht in die Thalli eingesenkte Lage einen reduzierten Öffnungswinkel hatten.



**Abb. 3.23:** Mikroklimaverlauf von *Chorisodontium aciphyllum*, *Andreaea gainii* und *Usnea aurantiaco-atra* zur Zeit der Schneeschmelze 1994, Potter Halbinsel. Standort von *C. aciphyllum* am Rande einer temporären Schmelzwasserrinne, *A. gainii* und *U. aurantiaco-atra* im Kuppenbereich „Usnea-Heide“.

In Abb. 3.23 ist der zeitliche Verlauf der Licht- und Temperaturverhältnissen dreier Arten von der dem Hang vorgelagerten Plateaufläche (Abb. 2.3 c) dargestellt. Der gezeigte Zeitraum entspricht dem von Abb. 3.22. Es wurden *Usnea aurantiaco-atra*, *Chorisodontium aciphyllum* und *Andreaea gainii* gemessen, von denen, wie bereits gezeigt (Abb. 3.22), die beiden Moose auch gleichzeitig im Hang gemessen wurden. *Chorisodontium aciphyllum* befand sich hier am Rande einer flachen Rinne und war zu Beginn der Messungen von einer ca. 10 cm starken Schnee- und Eisschicht bedeckt. *U. aurantiaco-atra* und *Andreaea gainii* waren zu Messbeginn nur von einer äußerst dünnen Schneeschicht bedeckt, aus der die Spitzen der Thallusäste herausragten.

Zu Beginn der sechswöchigen Messperiode vom 25. Oktober bis zum 6. Dezember 1994 befand sich *C. aciphyllum* vollständig im Eis. Bis zum 1. November war das Moos im Eis fest eingefroren und nur geringste Lichtmengen passierten die Schnee- und Eisschicht. Die täglichen Temperaturschwankungen waren dementsprechend gering. Das relativ hohe Temperaturminimum wurde am 27.10. mit  $-7,2\text{ °C}$  erreicht. Mit einsetzender Schneeschmelze stieg die Temperatur auf  $0\text{ °C}$ , wo sie 9 Tage blieb. Nach dem Abschmelzen des Eises wurde eine maximale Thallustemperatur von nur  $13,6\text{ °C}$  gemessen. Den gesamten Zeitraum über blieben die täglichen Temperaturschwankungen gering. Tägliche Maxima der PPFD erreichten schon am 2. November über  $100\text{ }\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  und am 8. November wurden über  $1300\text{ }\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  PPFD gemessen. In den  $3\frac{1}{2}$  Wochen bis zum Ende der Messungen wurden Lichtstärken bis maximal  $1800\text{ }\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  PPFD erreicht.

Beim polsterförmigen Moos *Andreaea gainii* machte sich die anfängliche schwache Schneebedeckung noch bemerkbar, da der Temperaturverlauf bis zum 1.11.1994 noch geglättet erschien. Die kälteste Temperatur wurde auch nicht in der Frostperiode Ende Oktober gemessen, sondern mit  $-9,5\text{ °C}$  in der Nacht vom 26.11. in einer Ausstrahlungssituation. Nach der Ausaperung zeigte der Temperaturverlauf eine ausgesprochen starke Amplitude. Am 30. November wurde das absolute Temperaturmaximum von  $35,5\text{ °C}$  ermittelt. Die Lichtwerte waren in der Frostperiode Ende Oktober 1994 noch relativ niedrig. Während der übrigen Zeit bis Anfang Dezember gab es sehr viele Strahlungstage mit Maxima über  $1500\text{ }\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  PPFD. Dass keine Werte über  $1772\text{ }\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  PPFD gemessen wurden lag in der Messbereichsbegrenzung des Dataloggers begründet. Zumindest bis Mitte

November dürfte auch die hohe Albedo der Landschaft mit zu hohen Lichtwerten beigetragen haben.

Die Strauchflechte *Usnea aurantiaco-atra* bekam den Frost Ende Oktober in voller Härte zu spüren. Die kälteste Temperatur wurde am 27.10.1994 mit  $-13,6\text{ °C}$  gemessen. Während des Novembers und Dezembers wurden Tagesverläufe mit moderaten Amplituden gemessen. Das absolute Maximum von  $18,4\text{ °C}$  wurde am 14.11. gemessen. Die Nachtfröste fielen in der Regel weniger stark aus als bei *A. gainii*.

### 3.2.2 Mikroklima unter Strauchflechten

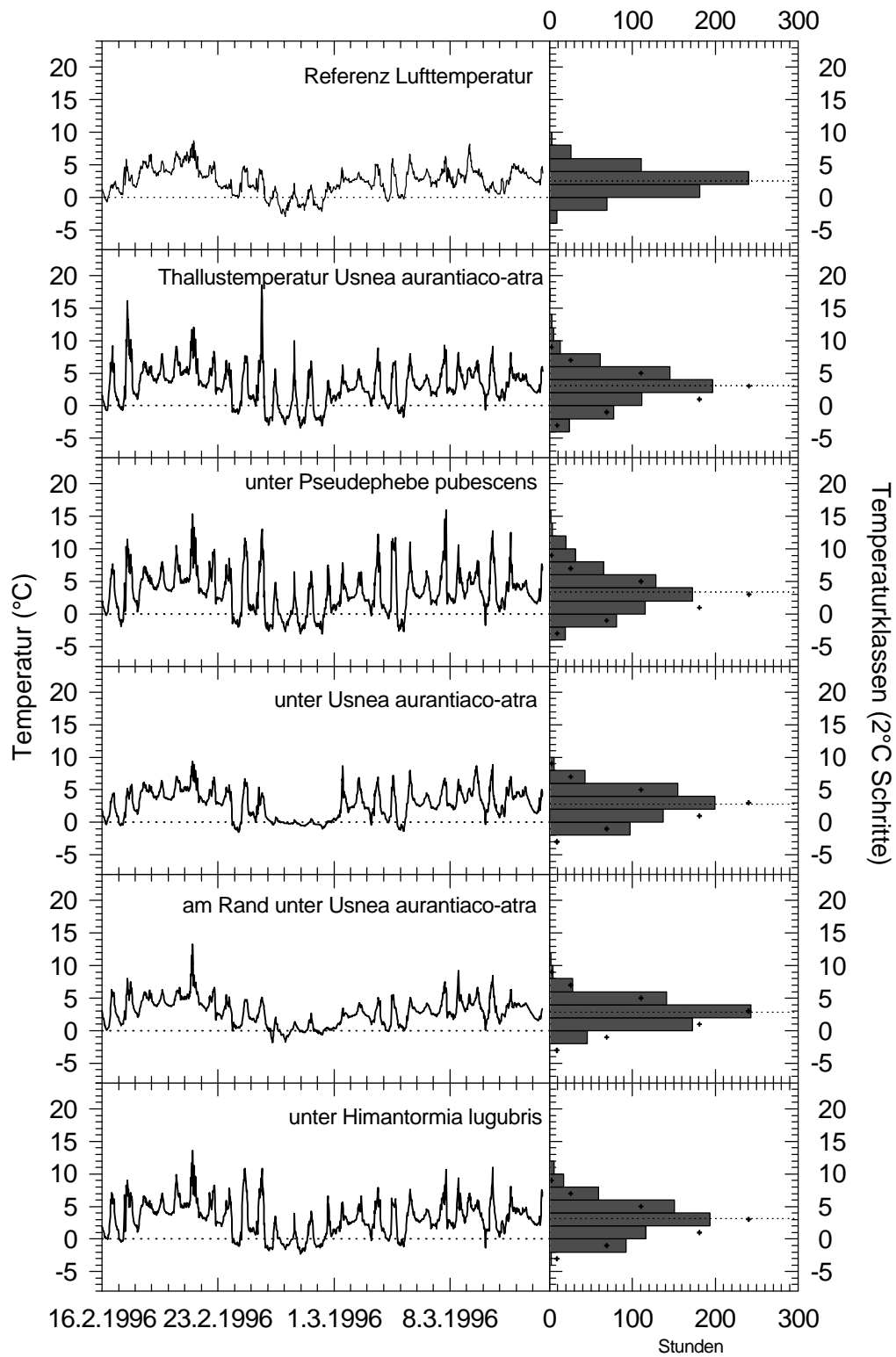
Bei den Strukturanalysen waren schon im Raster die Lichtbedingungen gemessen worden. Da es sich dabei um einmalige Messungen handelte, musste anhand eines anderen Versuchsaufbaus geklärt werden, inwieweit die Ergebnisse zur Abschattung durch Strauchflechten für verschiedene Witterungssituationen und Tageszeiten galten. Deshalb wurden über einen längeren Zeitraum, vom 16.02. bis zum 11.03.1996, sowohl die mikroklimatischen Bedingungen eines Thallus von *Usnea aurantiaco-atra*, als auch für die Vegetation unter verschiedenen Strauchflechten gemessen (Abb. 3.24).

Die Lufttemperatur im Messzeitraum schwankte zwischen  $-3,0\text{ °C}$  und  $+8,8\text{ °C}$ , mit einem Mittelwert von  $+2,4\text{ °C}$ . Nachtfröste traten an sechs Tagen auf, besonders zwischen dem 24. Februar und 1. März.

Die Thallustemperaturen von *Usnea aurantiaco-atra* schwankten in demselben Zeitraum von  $-3,4\text{ °C}$  bis  $18,5\text{ °C}$ . Nur an zwei Tagen wurden Temperaturen über  $15\text{ °C}$  gemessen. Für die sommerliche Zeit waren die gemessenen maximalen Temperaturen moderat. An zehn Tagen wurde der Gefrierpunkt unterschritten. Der Temperaturverlauf unter *Pseudephebe pubescens* ähnelte weitgehend dem von *Usnea aurantiaco-atra*. Insgesamt ist die maximale Tagestemperatur mit  $16,0\text{ °C}$  zwar niedriger, aber an verschiedenen Tagen, wie z.B. den 3. und 4. März, übertrafen die Temperaturen noch die Thallustemperaturen von *U. aurantiaco-atra*.

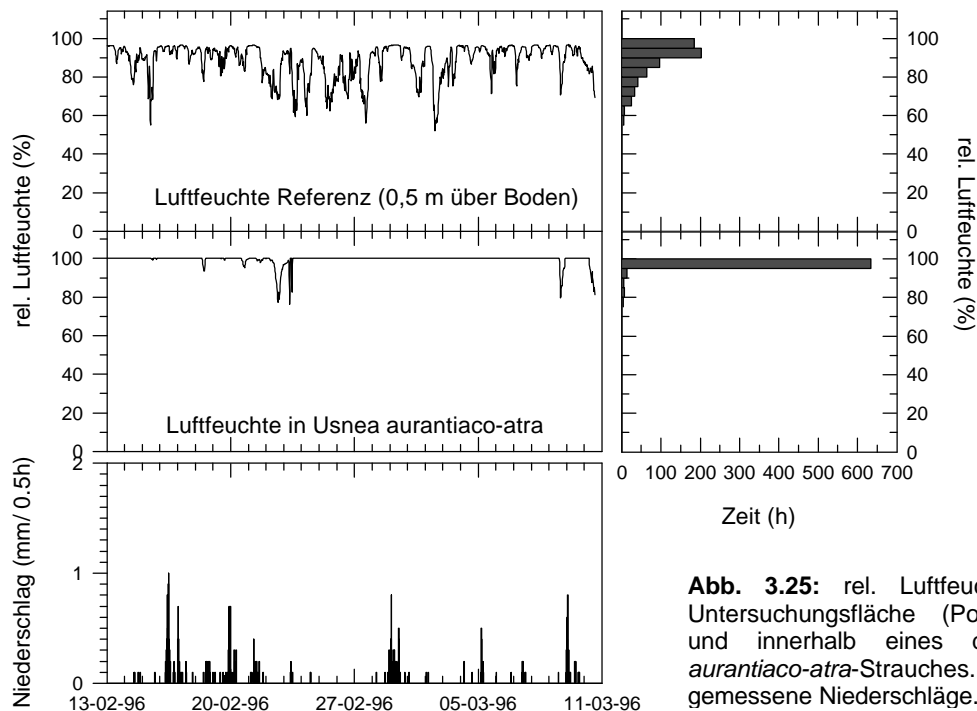
Unterhalb von dichten *Usnea aurantiaco-atra*-Beständen ist der Kurvenverlauf stark gedämpft, allerdings wurden tagsüber regelmäßig die Lufttemperaturen überschritten. Nach dem Kälteeinbruch und Schneefall am 25. Februar blieben die Temperaturen relativ konstant um den Gefrierpunkt. Dieses Verhalten war auf den allmählich abschmelzenden Schnee in den Strauchflechten zurückzuführen. Mit

einem absoluten Minimum von  $-1,6\text{ °C}$  und einem Maximum von  $9,3\text{ °C}$  war die gesamte Temperaturamplitude etwas geringer als die der Luft.



**Abb. 3.24:** Lufttemperatur, Thallustemperaturen von *Usnea aurantiaco-atra* sowie die Temperaturen unterhalb verschiedener Flechtenarten. Die Histogramme rechts geben die Gesamtdauer pro jeweiliger Klasse an, die gestrichelte Linie gibt den Mittelwert im Messzeitraum an. Die Untersuchungen wurden auf der Potter Halbinsel, King George Island durchgeführt.

Am Rande unter *Usnea aurantiaco-atra* wurden Temperaturen gemessen, die der Lufttemperatur am ähnlichsten waren. Kurzfristig wurde am 21. Februar zwar ein Maximalwert von 13,2 °C gemessen, die Tagesamplituden ähnelten sich aber sehr. Trotzdem lag die durchschnittliche Temperatur mit 2,8 °C deutlich höher als die durchschnittliche Lufttemperatur.

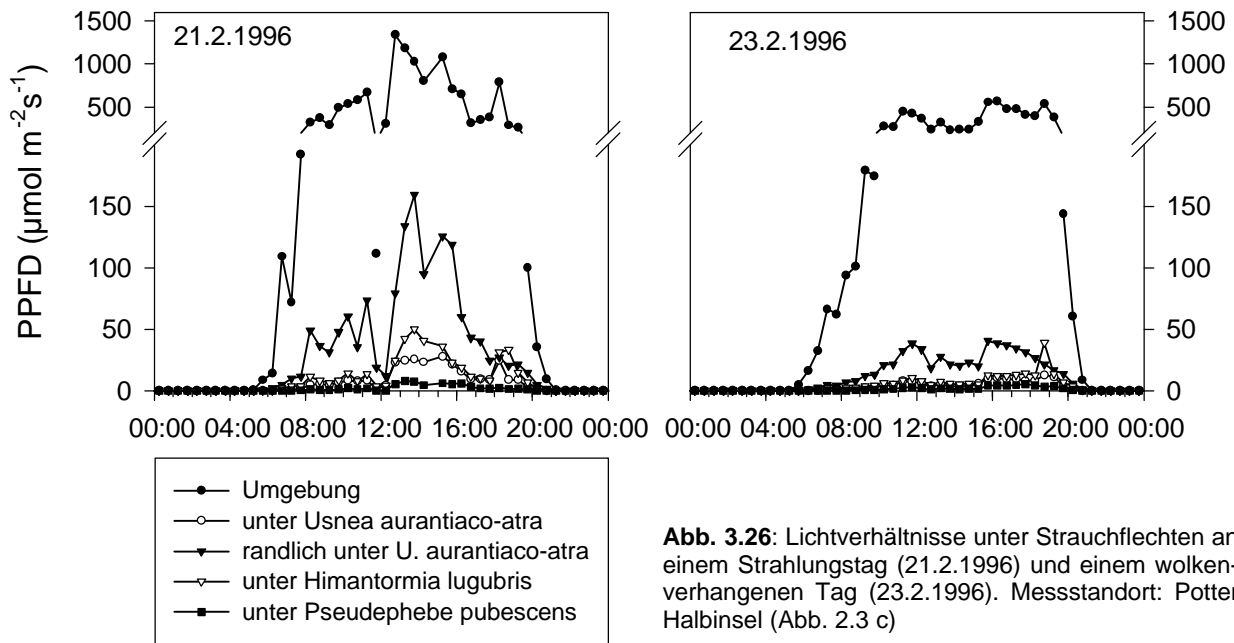


**Abb. 3.25:** rel. Luftfeuchte über der Untersuchungsfläche (Potter Halbinsel) und innerhalb eines dichten *Usnea aurantiaco-atra*-Strauches. Automatisch gemessene Niederschläge.

Die Ergebnisse der Messungen der Luftfeuchte sind in Abb. 3.25 dokumentiert. Während des Messzeitraumes schwankte die Luftfeuchte zwischen 96,7 % (eigentlich 100 %, Kalibrierungsfehler!) und minimal 52 %. Nachts lagen die Werte meist nahe beim Maximum. Auch nach dem Schneefall am 24. Februar wurden am Tage eine relativ niedrige Luftfeuchte von 68 % ermittelt. Die durchschnittliche Luftfeuchte betrug 88,4 %.

Die Luftfeuchte in bzw. unter *Usnea aurantiaco-atra* schwankte nur äußerst selten. Nur an besonders sonnigen Tagen, wie z.B. dem 23. Februar, wurden Werte deutlich unterhalb von 99 % relativer Luftfeuchte gemessen. Mit durchschnittlich 99,4 % relativer Luftfeuchte war der Standort unter einer dichten Strauchflechtenschicht sehr feucht. Es kann allerdings nicht ausgeschlossen werden, dass der verwendete Feuchtefühler mit Sinterfilter für die Messungen unter Flechten durch die hohe Niederschlagshäufigkeit auf Luftfeuchteänderungen träger als gewöhnlich ansprach, womit eine Überbetonung der hohen Luftfeuchten gegeben wäre.





**Abb. 3.26:** Lichtverhältnisse unter Strauchflechten an einem Strahlungstag (21.2.1996) und einem wolkenverhangenen Tag (23.2.1996). Messstandort: Potter Halbinsel (Abb. 2.3 c)

Die deutlichsten Veränderungen sind jedoch, nicht zuletzt aufgrund der Ergebnisse der Untersuchungen im Zusammenhang mit der Struktur der Vegetation, im Lichtklima zu erwarten gewesen. Zur besseren Übersicht wurden in Abb. 3.26 nur zwei einzelne Tage dargestellt, die einerseits eine Strahlungstag (21.2.1996) und zum anderen einen ganztägig wolkenverhangenen Tag (23.2.1996) repräsentieren. Am Strahlungstag wurden kurz nach 12<sup>00</sup> Uhr Photonenflussdichten von bis zu 1341  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  PPFD Umgebungslicht gemessen. Randlich unter *U. aurantiaco-atra* fielen mit 159  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  PPFD knapp über 10 % der Umgebungslichtes ein; direkt unterhalb wurden nur noch 28  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  PPFD gemessen. Unter *Himantormia lugubris* erreichte die Lichtstärke zur gleichen Zeit 50  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  PPFD während unter *Pseudephebe pubescens* nur maximal 8  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  PPFD den Sensor erreichten. Die Lichtabschwächung durch die Flechten betrug also 97 % bei *H. lugubris*, 98 % bei *U. aurantiaco-atra* und 99,5 % bei *P. pubescens*. Bei vollständig bedecktem Himmel und damit diffusem Licht erreichte das Umgebungslicht einen Maximalwert von 567  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  PPFD. Randlich unter *Usnea aurantiaco-atra* wurden dagegen nur maximal 34  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  PPFD gemessen und direkt unter der Flechte nur 13  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  PPFD. Unter *Himantormia lugubris* erreichte die Photonenstromdichte nur kurz einen Spitzenwert von 39  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  PPFD, während *Pseudephebe pubescens* (5  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  PPFD) wiederum sehr geringe Lichtströme passieren konnten. Bei diffusem Licht verringerte sich so die Lichtabschwächung durch die Flechten auf 93 % bei *H. lugubris*, 97,8 % bei *U. aurantiaco-atra* und auf 99,1 % bei *Pseudephebe pubescens*.

Diese Messungen bestätigen die Validität der Ergebnisse der einmaligen Lichtmessungen im Vegetationsraster, einerseits bzgl. der ermittelten Werte, andererseits hinsichtlich der relativ gleichsinnigen Kurvenverläufe von Umgebungslicht und abgeschatteten Bereichen. Lichtflecken scheinen aufgrund der Dichte des Flechten und des generell niedrigen Sonnenstandes allenfalls an den Rändern der Flechtenbestände eine Rolle zu spielen.

In Hinblick auf die Physiologie sind die Ergebnisse in zweierlei Hinsicht interessant: zum Einen sind die Lichtbedingungen für eine mögliche untere Vegetationsschicht dürftig. Zum Zweiten gelten diese Bedingungen auch für die untersten Teile der Strauchflechten.

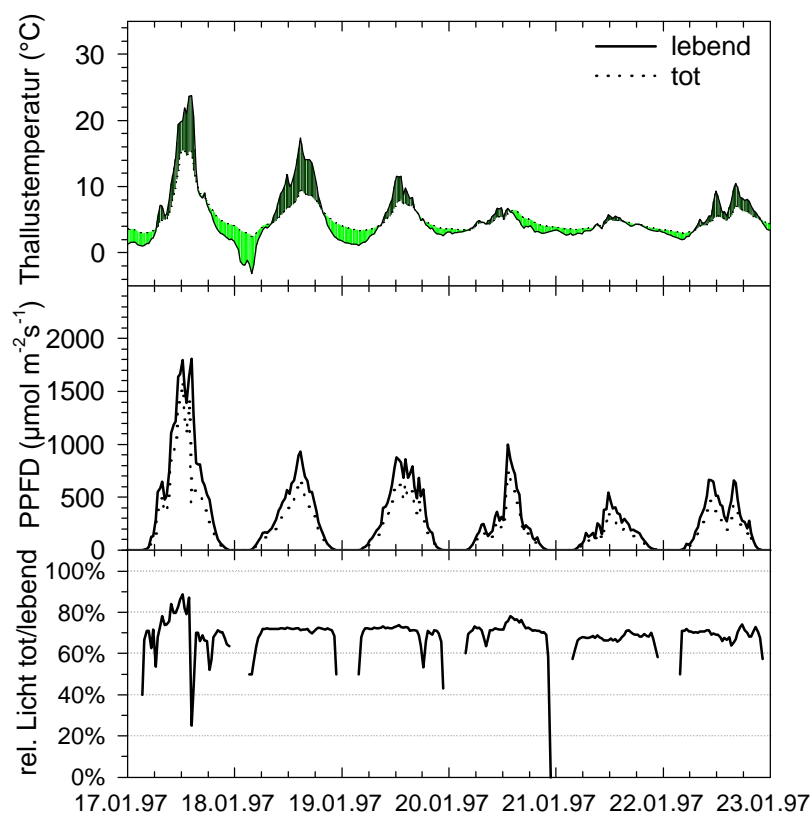
### 3.2.3 Vergleich des Mikroklimas von lebenden und toten Thalli von *Usnea aurantiaco-atra*

Auf der Fildes Halbinsel in der Nähe der chinesischen Station wurden tote, verdriftete Thalli von *Usnea aurantiaco-atra* in unmittelbarer Umgebung von lebenden Exemplaren gefunden. Der tote Thallus war einfach an einem erodierenden, aufgebrochenem Cortex erkennbar (siehe Anhang a). Da die Thalli generell auch nach dem Verdriften weiterwachsen können, musste davon ausgegangen werden, dass die speziellen Bedingungen am Fundort zum Tod geführt hatten. Die toten Thalli befanden sich zwischen kleineren Steinen (ca. 10 cm Durchmesser) liegend, auf denen die Art fruchtend wuchs. Ziel der Untersuchung war es, einen direkten Vergleich beider Mikrostandorte in Bezug auf Licht und Temperatur durchzuführen um zu überprüfen, ob diese Faktoren das Absterben der verdrifteten Thalli ausreichend erklären.

In Abb. 3.27 sind die Ergebnisse der Periode vom 17. bis zu 23. Januar 1997 dargestellt. Während dieses Zeitraumes lag die Lufttemperatur im Mittel bei +2,55 °C mit einem Maximum von +6,8 °C und einem Minimum von +0,2 °C. An den sechs gezeigten Tagen wurden nacheinander verschiedene Witterungssituationen durchlaufen. Der 17. Januar war ein relativ sonniger Tag (3,5 h Sonnenscheindauer) mit wenig bedecktem Himmel. Darauf folgten zwei bedeckte, aber niederschlagsfreie Tage, die dann von zwei Tagen mit kontinuierlichem Sprühregen abgelöst wurden. Am 22.1. war der Himmel bedeckt und nur zeitweilig herrschte Sprühregen.

Der beschriebene Witterungsverlauf spiegelt sich gut in den Kurven der Thallustemperatur wider. Während des strahlungsreichen Tages steigen die Temperaturen auf 23,8 °C bei dem lebenden Thallus, wohingegen der tote Thallus nur 15,3 °C

erreichte. Nachts, bei einer minimalen Lufttemperatur von  $+0,2\text{ °C}$ , verhielt sich der lebende Thallus ebenfalls extremer, mit  $-3,2\text{ °C}$  lag das Minimum deutlich unterhalb des Gefrierpunktes und der Lufttemperatur, der tote Thallus blieb mit minimal  $+2,4\text{ °C}$  noch deutlich über beiden. Dieses Schema wiederholt sich die anderen Tage, doch fallen die Unterschiede proportional zur Tagesamplitude geringer aus. An den beiden Regentagen 20. und 21. Januar sind die Unterschiede nur noch minimal, so wurden am 21.1 Maxima von  $5,7\text{ °C}/5,1\text{ °C}$  und Minima von  $2,6\text{ °C}/2,8\text{ °C}$  gemessen. Die durchschnittlichen Temperaturen lagen mit  $5,3\text{ °C}$  für den lebenden und  $5,1\text{ °C}$  für den toten Thallus eng zusammen.



**Abb. 3.27:** *Usnea aurantiaco-atra*, Thallustemperaturen von lebenden und toten Beständen (Untertemperaturen des toten Thallus dunkle Flächen; helle Flächen Übertemperatur). Quantenstromdichten für lebende und tote Thalli, sowie der relative Lichteinfall für tote Thalli.

Am Strahlungstag wurde für den lebenden Thallus ein Lichtmaximum von  $1807\text{ μmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  PPFD gemessen, das Maximum für den toten Thallus lag bei  $1591\text{ μmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  PPFD. Der relative Lichteinfall für den toten Thallus schwankte im Tagesverlauf zwischen 25 und 90 %. An bedeckten Tagen, unabhängig vom Niederschlag und Strahlungsmaximum, blieb der relative Lichteinfall fast konstant zwischen 65 und 75 %. Erst in der Dämmerung bei sehr niedrigen Lichtstärken ( $<10\text{ μmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  PPFD) nahm der relative Lichteinfall ab. Durchschnittlich 71 % des für lebende Thalli verfügbaren Lichtes erreichten die toten Thalli.

Ein Vergleich der beiden Thalli zeigt also, dass zum Zeitpunkt möglicher physiologischer Aktivität im Bereich des toten Thallus etwas weniger Licht zur

Verfügung stand. Die Temperaturen waren zwar ähnlich, aber durch die niedrigeren Tages- und höheren Nachttemperaturen beim toten Thallus doch etwas ungünstiger. Insgesamt scheint es aber so, dass beide Größen zusammen noch nicht eine hinreichende Erklärung für das Absterben liefern können. Ohne es mit Wassergehaltsmessungen belegen zu können, ist als dritter Faktor die veränderte Wasserverfügbarkeit anzunehmen. Eigene Feldbeobachtungen dazu zeigten, dass in Lee von auch kleineren Steinen und Strauchflechten auch einige Zeit nach Beginn von Sprühregen, teilweise sogar nach Stunden, die Bodenoberfläche noch trocken erschien. Da die toten Thalli von drei Seiten mit Steinen mit *Usnea aurantiaco-atra* umgeben war, lag der Fundort quasi immer im Windschatten. Unter der Annahme, dass die Flechte aufgrund der ungünstigen Bedingungen an ihrem Fundort starb, ist das Interessante dieser Untersuchung, dass ohne langfristige Schneebedeckung derartig ungünstige mikroklimatische Faktorenkombination vorkommen, die *U. aurantiaco-atra* kein Überleben ermöglichen.

### 3.2.4 Wasserhaushalt

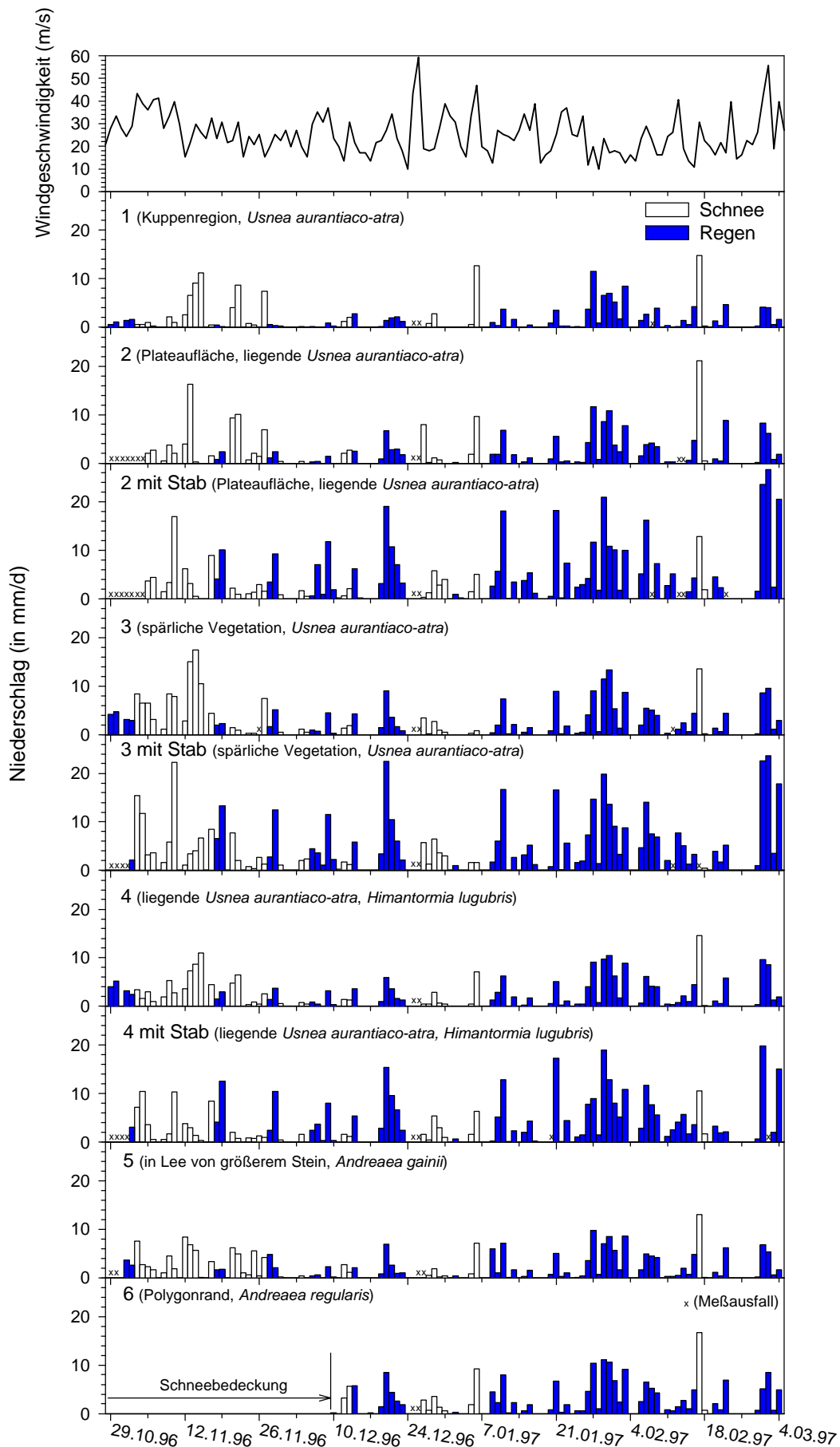
#### 3.2.4.1 Langfristige Messungen der Niederschläge an benachbarten Standorten

Wie schon im vorigen Abschnitt angedeutet, ist die Wasserverfügbarkeit von zentraler Bedeutung für das Überleben. Untersuchungen zur kleinräumigen Verteilung von Niederschlägen liegen aus dem Bereich der Antarktis bisher nicht vor. Besonderes Interesse dieser Untersuchungen war auch die Windabhängigkeit der Verteilung.

In Abbildung 3.28 sind die Ergebnisse der täglichen Niederschlagsmessungen an sechs Standorten auf der Fildes Halbinsel vom 27.10.1996 bis zum 04.03.1997 wiedergegeben. An drei Standorten fand eine Doppelbestückung aus PE-Flaschen und PE-Flaschen mit einem Stab als Flechtenersatz statt. Zum besseren Verständnis wurde außerdem die mittlere tägliche Windgeschwindigkeit dargestellt.

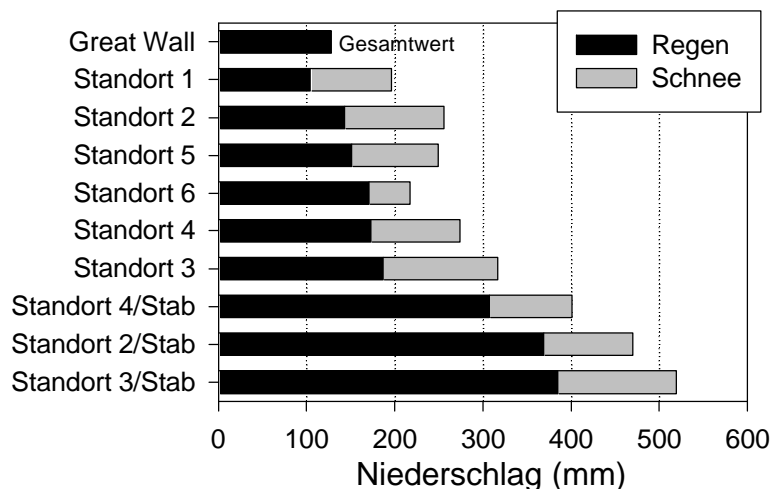
Deutlich zeigte sich den ganzen Sommer über eine hohe Niederschlagshäufigkeit. Im Untersuchungszeitraum von 125 Tagen wurde an 66 Tagen Regen und an 36 Tagen Schneefälle registriert, so dass nur 23 Tage ohne messbare Niederschläge blieben. Die längste Periode mit messbaren täglichen Niederschlägen dauerte 15 Tage, während ununterbrochen nur 5 Tage trocken waren. Bis Mitte November herrschte Schnee als Niederschlagsform vor, dann traten bis Ende Dezember abwechselnd Regen und Schneefälle auf, wobei dies in Zyklen von drei bis fünf Tagen geschah. Gegen Ende Dezember/ Anfang Januar setzten noch einmal Schneefälle ein, während es anschließend in einer niederschlagsreichen Periode bis Mitte Februar ausschließlich regnete. Von einem zweitägigem Schneefall unterbrochen setzte sich die Regenperiode bis zum Messende Anfang März fort. Dabei fiel der Regen neben dem in der maritimen Antarktis üblichen Sprühregen an einigen Tagen auch in Form von schwerem Regen.

Generell fällt auf, dass die Muster der Erträge von mit Stab ausgerüsteten Flaschen untereinander ähnlicher sind als zu den am jeweils gleichen Standort aufgestellten einfachen PE-Flaschen. Bei einfachen Flaschen wurden bei Schnee die höchsten Mengen gesammelt, während bei Flaschen mit Stab Regen die höchsten Werte lieferte. Da sich aber nach stärkeren bzw. wiederholten Schneefällen die Öffnungen der Flaschen unterhalb der Schneeoberfläche befanden und der Hals aller Flaschen durch Schnee verklebt war, bevor diese vollständig gefüllt waren, sind die Werte insbesondere mit Stab ausgerüsteter Flaschen verfälscht.



**Abb. 3.28:** In PE-Flaschen gesammelte Niederschlagsmengen an sechs Standorten auf der Fildes Halbinsel. Ausgefüllte Säulen bedeuten Regen, weiße Säulen Schnee. Messausfälle wurden mit einem x markiert. Die oberste Grafik gibt die mittlere Windgeschwindigkeit/d wieder (von der meteorologischen Station von Great Wall gemessen)

Vergleicht man nun zuerst die einzelnen Standorte untereinander, so fielen am Standort 1, einer Kuppenregion mit aufrechter *Usnea aurantiaco-atra*, seltener und weniger Niederschläge als auf den anderen Standorten. Die Erträge bei südlichen bis östlichen oder bei schwachen Winden fielen zu anderen Standorten relativ ähnlich aus, während sie bei den vorherrschendem nördlichen bis westlichen Winden deutlich niedriger waren. Da die Kuppe nach Südosten flach und zu den übrigen drei Seiten hin steil abfiel, kann wohl angenommen werden, dass auf einem steil begrenztem Hindernis weniger Niederschläge fallen als in der Umgebung. Nach schwachem Nieselregen haftete das Wasser nur an den inneren Wandungen der Flaschen und war schon verdunstet wenn sich an anderen Standorten noch eine geringe messbare Wassermenge in den Flaschen befand. Ob dies an einem geringeren Eintrag und/oder einer höheren Verdunstungsrate lag, wurde nicht geklärt. Berücksichtigt man die Ergebnisse der Untersuchungen zu Niederschlag und Verdunstung, so ist zu vermuten, dass beide Annahmen gleichzeitig zutreffen.



**Abb. 3.29:** In PE-Flaschen ersammelte Niederschlagsmengen (Regen /Schnee) von sechs Standorten (Zeit: 27.10.1996-4.3.1997). Als Referenz wurde die von der ca. 1 km entfernten meteorologischen Station von „Great Wall“ ermittelte Gesamtniederschlag eingetragen

Abbildung 3.29 zeigt die Sammelerträge nach Regenmengen sortiert. Dabei liegen die beiden von *Usnea aurantiaco-atra* dominierten Vegetationsformen (Standorte 1 und 2) am niedrigsten. Dann folgen die beiden moosdominierten Gesellschaften (Standorte 5 und 6) und der Standort (4) an einer Grenzlinie zwischen *Himantormia lugubris* und *Usnea aurantiaco-atra*. An einem schwach geneigten Hang mit auf größere Steine beschränktem Vorkommen von *Usnea aurantiaco-atra* (Standort 3) konnte am meisten Regen gemessen werden – fast 80 % mehr als beim Standort mit dem schwächsten Sammelertrag. Auch bei Schnee wies dieser Standort die höchsten Sammelergebnisse mit 130 mm auf, während die anderen zwischen 92 und

112 mm lagen. Nach einer subjektiven Einschätzung waren die Standorte 1 und 3 am stärksten exponiert, während die Standorte 5 und 6 am stärksten geschützt erschienen, weil sie relativ zur Umgebung eingesenkt waren. Die gesammelten Regenmengen entsprachen weder der Hypothese, dass höchste Sammelergebnisse bei stärkstem Schutz zu erwarten wären noch der Gegenhypothese. Vergleicht man die einzelnen Tagessummen miteinander, so waren im allgemeinen unabhängig von Windrichtung und –stärke die Relationen zwischen den Standorten konstant.

Ein hohes Sammelergebnis zeigten alle drei mit einem Stab als Strauchflechtenersatz ausgerüsteten Flaschen. Im Vergleich zu den jeweils benachbarten Flaschen steigerte sich der Gesamtertrag auf 177 bis 258 %. Der Schneeertrag lag mit 94 bis 134 mm in einem ähnlichen Bereich wie bei den normalen Niederschlags-sammlern. Die Werte von größeren Schneefällen oder länger anhaltenden Schneeperioden sind allerdings sehr ungenau, da insbesondere bei mit Stab ausgerüsteten Flaschen die Hälse durch Schnee verschlossen wurden bzw. auch Driftschnee mit gemessen wurde.

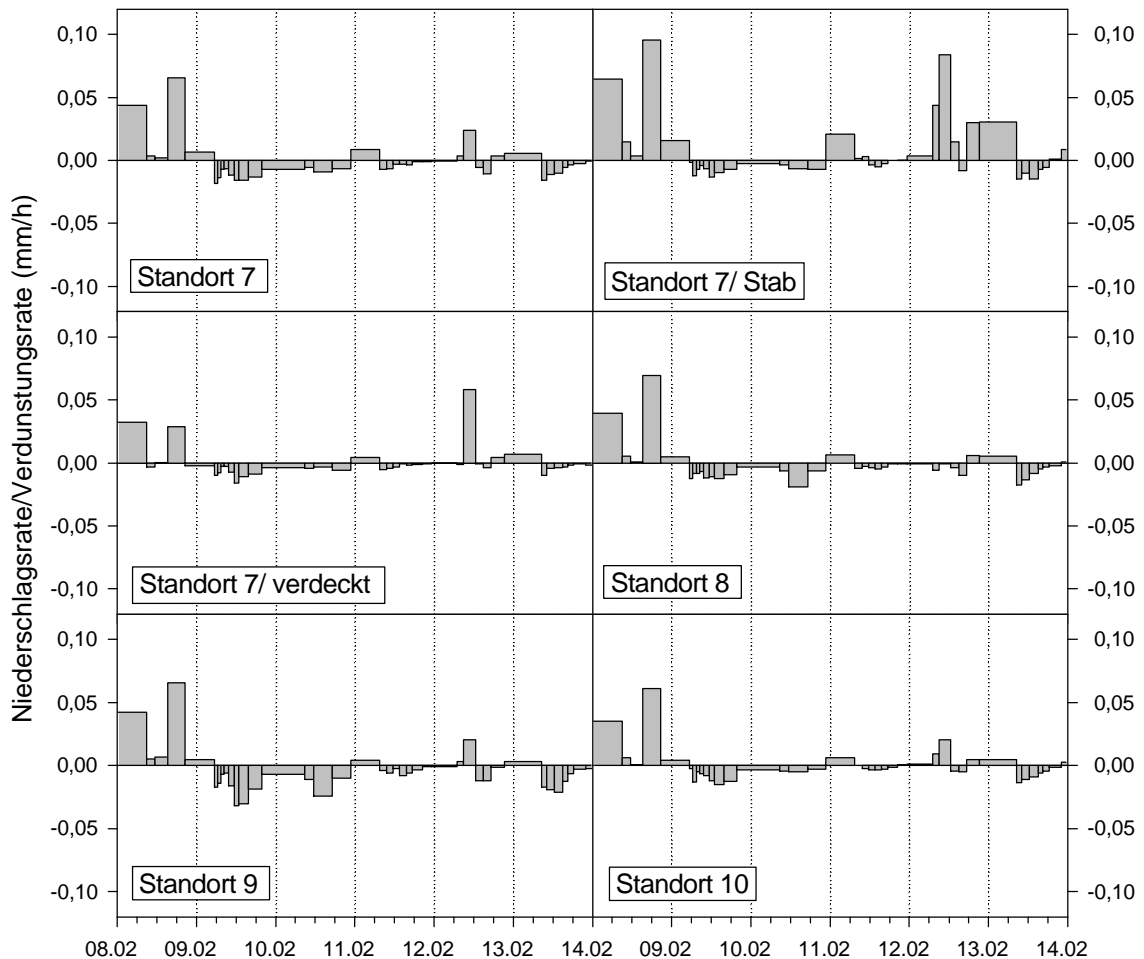
Durch den Einsatz von einem einfachen PE-Stab wurde die gesammelte Menge auf den drei untersuchten Standorten mehr als verdoppelt. An manchen Tagen wurden noch deutliche Niederschläge registriert, während mit den normalen Sammlern nur sehr geringe oder keine Niederschläge gemessen wurden. Besonders an stürmischen Regentagen wurden stark erhöhte Niederschlagswerte ermittelt, während an windarmen Tagen der Stab zu keiner Erhöhung der Sammelmenge führte. Der Versuch zeigt, dass unter den Bedingungen in der maritimen Antarktis, poikilohydre Pflanzen, die sich in den Luftraum erheben, sowohl in Hinblick auf die Menge als auch auf die Dauer der Befeuchtung deutliche Vorteile gegenüber planar wachsenden Arten haben.

#### 3.2.4.2 Niederschlag und Verdunstung

Ein zweiter Versuch zum standortabhängigen Niederschlagseintrag und zur Verdunstung wurde in der Nähe der Station Great Wall durchgeführt. Im Zeitraum vom 21.1. bis zum 26.2.1997 wurde in witterungsabhängigen Zeitintervallen (minimal 1 ½ Stunden) gemessen. Vier Standorte, Nr. 7- 10, wurden dazu ausgewählt: auf der Kuppe (siehe Schema Abb. 2.17, S.29), an der steilen Flanke der Kuppe, an der Basis der Flanke und basal auf einer flach abfallenden Moräne mit großflächig verpilzter *Sanionia uncinata*. Aufgrund der sehr steilen Hangflanken wurde mit diesen Standorten ein extremerer Bereich abgedeckt als beim vorigen Versuch. Auf der



Kuppe (Standort 7) wurden drei Flaschen eng benachbart installiert: Ein normaler Sammler, ein mit Stab ausgerüsteter Sammler und ein normaler Sammler, dessen Öffnung vollständig von einem liegenden Thallus von *Usnea aurantiaco-atra* verdeckt wurde. Mit dieser Versuchsanordnung sollte Hinweis auf die Niederschlagsbedingungen für freie und verdeckte Vegetation ermöglicht werden.



**Abb. 3.30:** Niederschlags- und Evaporationsraten mit PE-Flaschen gemessen an vier Standorten bei Great Wall Station/ Fildes Halbinsel (die jeweilige absolute Regenmenge ergibt sich aus der Säulenbreite \* Höhe). Dargestellter Zeitraum 8.2.-14.2.1997.

Insgesamt wurden während der 5-wöchigen Messperiode für jeden Sammler jeweils ca. 230 Messwerte genommen. Die Ergebnisse sind in den Abb. 3.30 und 3.31 dargestellt. In Abb. 3.30 sind zur besseren Interpretierbarkeit nur sechs Tage aufgenommen. Aufgrund der unterschiedlichen Zeitintervalle bei den Messungen wurden in dieser Graphik keine Absolutwerte, sondern Raten dargestellt.

An den dargestellten sechs Tagen wurden relativ charakteristische Witterungssituationen für den Sommer 96/97 durchlaufen (vgl. auch Mesoklima S.13, Abb. 2.7). Am 8. Februar regnete es den ganzen Tag in Form von Sprühregen und Regen. In den frühen Morgenstunden des 9.2. hörte der Regen auf, aber der Himmel

blieb bedeckt. Am folgenden Tag schien die Sonne (7,2 h) und es blieb tagsüber niederschlagsfrei. Nachts herrschte einige Zeit Sprühregen, ansonsten war der Tag trocken. Am 12. Februar fiel zur Mittagszeit Sprühregen, der nun von heftigen Winden begleitet wurde. Der Sprühregen wurde zur Mittagszeit des 13.2. von Regen abgelöst. Schnee fiel während dieser Zeit nicht. Für die nachfolgenden Vergleiche wurde der unverdeckte Sammler von Standort Nr. 7 herangezogen.

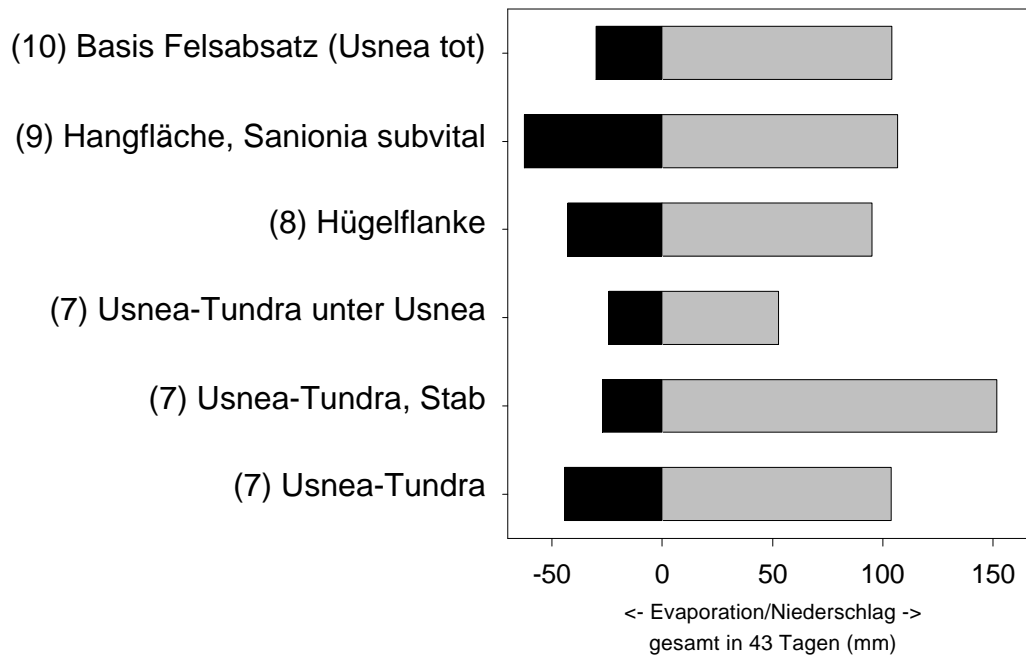


Abb. 3.31: Kumulierte Niederschlagsmengen (grau) und Evaporationsverluste (schwarz) aus PE-Flaschen an vier Standorten bei Great Wall Station/ Fildes Halbinsel. Die Nummern geben die Standortnummern an.

Auf der Kuppe (Standort Nr. 7) wurden über den gesamten Zeitraum mit dem offenen Sammler ohne Stab ein Niederschlag von 102,8 mm gemessen während 38,4 mm durch Verdunstung verloren gingen. Das ergab einen Überschuß von 64,4 mm. Wie bei den anderen Sammlern akkumulierte sich also Wasser in der Flasche. Während vier Zeiträumen fielen die Niederschläge. Mit 151,8 mm lag bei der Flasche mit Stab die gesammelte Menge ca. 50 % höher als bei der einfachen Flasche. Die Verdunstung war gering und kumulierte sich auf 26,6 mm, ist aber aufgrund der durch den Stab in verschiedener Weise veränderten Verhältnisse nicht direkt mit den Werten der anderen Sammler vergleichbar. Vergleicht man die gesammelten Regenmengen im Zeitverlauf, so sieht man, dass der Mehrertrag nicht durch einzelne Ereignisse, sondern während der gesamten Niederschlagszeit gewonnen wurde. Durch die Verlängerung der Niederschlagszeiten, wie z.B. am 11. Februar wurden nur geringe Mengen zusätzlich aufgefangen. Die Flasche mit einer von *Usnea aurantiaco-atra* verdeckten Öffnung wies mit 52,6 mm Niederschlag sowohl

das geringste Sammelergebnis, als auch mit 20,4 mm die niedrigste Verdunstung auf. Die zeitliche Niederschlagsverteilung entspricht nur grob der der anderen Standorte bzw. Sammler. Das Ergebnis ist in verschiedener Hinsicht aufschlußreich. Am 8. Februar, einem Tag mit leichtem Dauerregen/-niesel und Winden unter 20 km/h stieg der Regeneintrag relativ zum unbedeckten Sammler nicht an, wie vielleicht zu erwarten gewesen wäre. Trotz der erheblichen Regenmenge war die abdeckende Flechte offensichtlich den ganzen Tag unterhalb ihres maximalen Wasserhaltevermögens. In der Nacht zum 11. Februar fiel eine geringe Menge Niederschlag, die auch unterhalb des Thallus noch registriert wurde. Das zeigt, dass unterhalb der Flechte nicht nur Traufwasser, sondern auch direkter Niederschlag gesammelt wurde. Als es am 12. Februar unter windigen Bedingungen regnete, wurde in der verdeckten Flasche fast doppelt so viel Wasser aufgefangen wie in der benachbarten, exponierten Flasche. Es ist wohl davon auszugehen, dass das meiste Wasser Trauf war. In der folgenden Nacht wurden exponiert und verdeckt ähnlich viel aufgefangen, während die Flasche mit Stab die ca. vierfache Menge davon erhielt. Wie erwartet, war bei der durch die Flechte bedeckten PE-Flasche die durch Verdunstung verlorene Menge durchweg niedriger als bei allen anderen Sammlern. Für die verdeckte Vegetation unterhalb von Strauchflechten war zwar insgesamt weniger Wasser verfügbar als am unbedeckten Standort, jedoch war die Zeit mit Niederschlägen nur unwesentlich reduziert. Auch bei einer dichten Strauchflechtenschicht gelangte immer ein Teil des Niederschlags in die darunterliegende Schicht, aber eine windgesteuerte „Aufkonzentrierung“ des Regens mit darauffolgendem Abfließen der Traufwassers fand nur selten statt. Dies bedeutet aber auch, dass das meiste von den Strauchflechten gefangene Wasser auch in und an der Strauchflechte verbleibt. Nach eigenen Beobachtungen werden selbst bei Starkwinden an den Flechten anhaftende Wassertropfen nicht mit fortgerissen (vgl. Abb. 3.34, S. 96).

Am Standort Nr. 8, an der O-exponierten Flanke der Kuppe gelegen, wurde mit 94,3 mm eine etwas geringere Niederschlagsmenge als auf der Kulmfläche (Standort 7) gesammelt. Ebenso war die Verdunstung mit 36,2 geringer. Differenzen traten hauptsächlich bei Winden aus nordöstlicher Richtung auf, wenn sich die Flanke in Lee befand. Am 12. Februar wurde mittags statt Regen ein Wasserverlust gemessen. Rechnet man Niederschläge und Verdunstung zusammen, so ergibt sich

ein Wasserüberschuß von 58,1 mm. Die verminderte Verdunstung konnte also nicht die geringeren Niederschläge kompensieren.

Nach Norden hin, unterhalb des Felsabsatzes der Kuppe, fiel der Hang allmählich ab. Augenfälliges Merkmal der Vegetation war das dominante Auftreten von *Sanionia uncinata*, die aber großflächig verpilzt war. Der Niederschlagseintrag von Sammler 9 lag mit 106,1 mm zwar leicht höher als auf der Kuppe, jedoch war die Verdunstung mit 54,5 mm sehr viel höher als an Standort 7. Dies führte zu einer relativ schlechten Bilanz von nur 51,6 mm Wasserüberschuß in dem Messzeitraum.

Direkt an der Felsbasis südöstlich der Kuppe (Standort 10) wurde mit 103,0 mm ähnlich viel Niederschlag wie auf der Kuppe gesammelt. Die Verdunstung war mit nur 25,2 mm erwartungsgemäß niedrig. Damit ist der Standort in der Summe mit 77,8 mm Wasserüberschuß der feuchteste der vier Messstandorte.

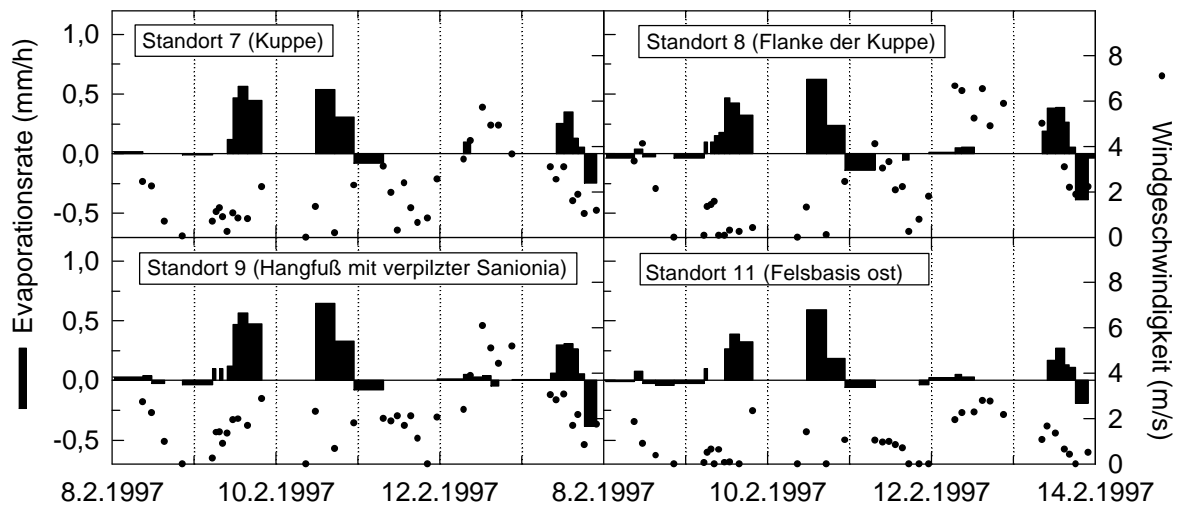
Faßt man die Ergebnisse des Versuchs zusammen, so ist festzustellen, dass an allen vier Standorten ähnliche Niederschlagsmengen gesammelt wurden. Die Evaporation hingegen variierte stark. Aufkonzentrierungen oder Abschirmung durch die Flechten bestimmten im Versuch die Feuchtigkeitsbedingungen eines Standortes als es die topographische Lage es tat. Die von der Wetterstation ermittelten Niederschläge waren im allgemeinen ca. 50 % niedriger, doch bei leichtem Nieselregen und stärkerem Wind divergierten die Werte noch deutlicher, wie z.B. am 12. Februar, als von der Wetterstation 0,0 mm registriert (Nachweisgrenze 0,05 mm), am Standort 7 aber 0,8 mm und im verdecktem Sammler sogar 2,1 mm aufgefangen wurden.

#### 3.2.4.3 Evaporation und Windverhältnisse

Auf der gleichen Hügelkuppe wie beim vorigen Versuch waren 4 Piché-Evaporimeter ausgebracht, die vom 4. Januar bis 27. Februar in witterungsabhängigen Zeitabständen abgelesen wurden. Gleichzeitig wurden Windmessungen mit einem tragbaren Flügelradanometer ausgeführt. Grundidee war, die Evaporation auch nach einem Standardverfahren zu bestimmen und dazu noch die Windverhältnisse als einen steuernden Faktor aufzunehmen. Die Abb. 3.32 stellt wie beim vorigen Versuch den Zeitraum vom 8. bis 14. Februar dar (Die Evaporation ist positiv, gelegentliche negative Werte zeigen einsetzenden Regen an).

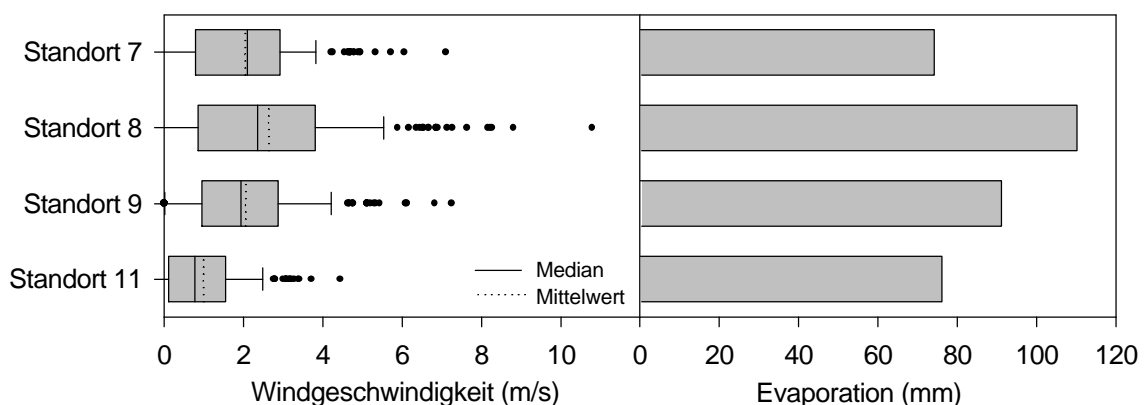
Leider mußte während des Versuches festgestellt werden, dass der Aufbau unter den gegebenen Bedingungen nur eine beschränkte Tauglichkeit hatte. Neben dem gelegentlichen Gefrieren der Wassersäulen führten windbedingte Schwingungen und

das Verknicken der Filterscheiben zu Messwertverfälschungen bzw. -verlusten. Selten kam es durch Regen infolge der bodennahen Anbringung zur Verschmutzung der Filterscheiben mit Schlamm. In der abgebildeten Periode froren die Evaporimeter



**Abb. 3.32:** Evaporationsraten (Säulen) mit Piché-Evaporimetern an vier Standorten gemessen. Standorte 7,8 und 9 sind identisch mit denen von Abb. 3.30. Die Punkte geben die Windgeschwindigkeit in m/s zum Messzeitpunkt an.

in der Nacht vom 9. zum 10. Februar aus und tauten erst am Vormittag wieder auf. An Standort 7 auf dem Kuppenplateau wurden die höchsten Evaporationsraten am 9. Februar gemessen. Am sonnigen 10. Februar, als die Luftfeuchte bis auf 74 % absank, war die Gesamtevaporation am höchsten. An den beiden folgenden Tage blieb die Luftfeuchte auf 100 % und eine Evaporation war nicht messbar. Erst am 13.2. sank die Luftfeuchte auf 95 % und es wurde eine deutliche Evaporation gemessen.



**Abb. 3.33:** Windgeschwindigkeit und Evaporation an vier Standorten auf der Fildes Halbinsel (gesamter Messzeitraum berücksichtigt).

Die Windverhältnisse an den Standorten unterschieden sich deutlich. An Standort 11, an der Basis eines Felsen, betrug die mittlere Windgeschwindigkeit 0,99 m/s, während sie am windigsten Standort Nr. 8 an der Flanke der Kuppe bei 2,63 m/s lag.

Für die Kuppenregion, Standort 7, wurde 2,03 m/s und für Standort 9, der Hang mit verpilzter *Sanionia uncinata*, 2,05 m/s als Mittelwert gemessen. Vergleicht man dies mit der Gesamtevaporation, so war der Einfluß von Wind auf die Evaporation unerwartet gering.

#### 3.2.4.4 Wassergehaltsmessungen an Flechten und Moosen

Die Messungen auf der Hügelkuppe nahe der Station Great Wall wurden durch Wassergehaltsmessungen an verschiedenen Wuchsformen von Moosen und Flechten ergänzt. An insgesamt 11 Thalli wurden über einen Zeitraum von 6 Wochen fortlaufend die Gewichte bestimmt. Die Tabelle 3.3 gibt Aufschluß über die verwendeten Proben und die erreichten Minima und Maxima des Thalluswassergehaltes in Bezug auf Thallusgewicht bzw. -fläche. Um den flächenbezogenen Wassergehalt besser interpretieren zu können, wurde das Flächengewicht der einzelnen Thalli mit in die Tabelle aufgenommen.

**Tab. 3.3:** Minimales und maximales Thalluswasser von Flechten und Moosen unterschiedlicher Standorte im Feldversuch. Das spezifische Thallusgewicht und das Thalluswasser sind jeweils auf die horizontale Projektionsfläche bezogen.

Artname	Standort	Thallusgew	min.	max.	min.	max.
<b>Flechten</b>		(mg/cm <sup>2</sup> )	Thalluswasser (mm)		Thalluswasser (in % vom TG)	
<i>Usnea antarctica</i>	Kuppe	67	0,26	2,76	38 %	408 %
<i>Usnea aurantiaco-atra</i> (aufrecht)	Kuppe	100	0,22	10,30/3,85	22 %	1031/385 %
<i>Usnea aurantiaco-atra</i> (liegend)	Kuppe	65	0,05	1,14	8 %	174 %
<i>Himantormia lugubris</i> (terrestrisch)	Kuppe	54	0,25	1,52	47 %	282 %
<i>Lecidea sciatrapha</i>	Hangfuß, Geröll	18	0,21	1,16	116 %	636 %
<i>Placopsis contortuplicata</i>	Hangfuß, Moräne	63	0,08	1,06	30 %	396 %
<b>Moose</b>						
<i>Calliargon sarmentosum</i>	Hangfuß	275	0,85	15,61	31 %	567 %
<i>Sanionia uncinata</i> (Teppich)	Hangflankelee	111	0,23	4,59	21 %	414 %
<i>Sanionia uncinata</i> ("Polster")	Hangflankeluv	185	0,64	8,91	34 %	483 %
<i>Andreaea regularis</i>	Hangfuß	130	0,14	2,56	22 %	386 %
<i>Andreaea gainii</i>	Kuppe	261	0,84	7,99	32 %	305 %

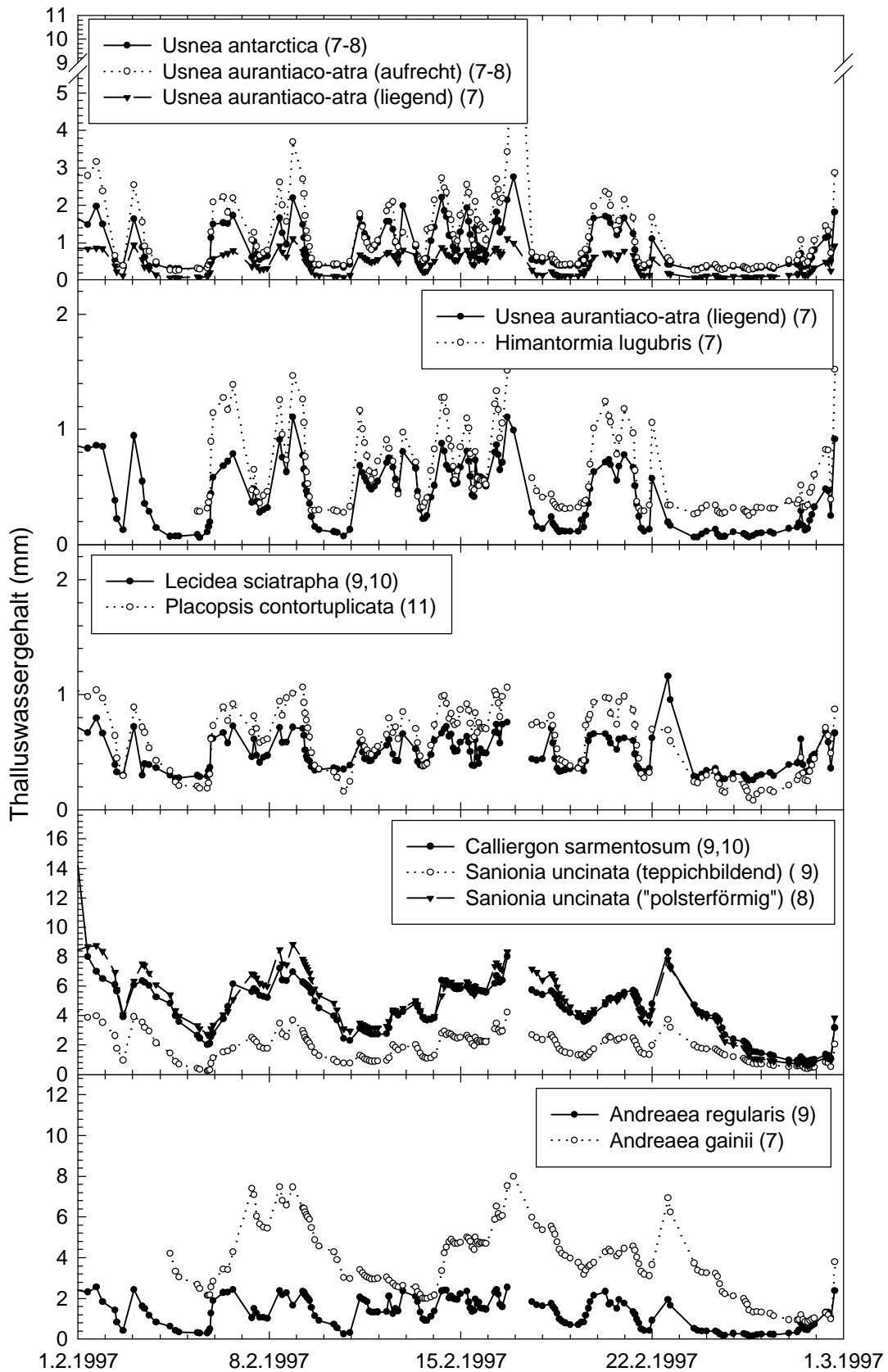


**Abb. 3.34:** *Usnea antarctica* (Messobjekt) mit anhaftenden Wassertropfen

Die spezifischen Thallusgewichte (Tab. 3.3) lagen bei den Flechten zwischen 100 mg/cm<sup>2</sup> für *U. aurantiaco-atra* und 18 mg/cm<sup>2</sup> für die Krustenflechte *L. sciatrapha*. Mit 63 mg/m<sup>2</sup> erreichte die Krustenflechte *Placopsis contortuplicata* aber ähnliche Werte wie die Strauchflechten. Aufrecht wachsende *Usnea antarctica* hatte mit 67 mg/cm<sup>2</sup> ein ähnliches Flächengewicht wie liegende *U. aurantiaco-atra*. Beim Vergleich der gebundenen Wassermengen einzelner Thalli (einschließlich extern anhaftendem Wasser) fällt zuerst der extrem hohe Wert von 10,3 mm bzw. 1031 % von aufrechter *U. aurantiaco-atra* auf. Dieser singuläre Wert wurde bei Eis-/Schneeregen gemessen (siehe auch Abb. 3.35), bei dem die Flechte völlig mit Schnee verklebt war. Wenn dieser Wert außer Acht gelassen wird, so waren bei den beiden aufrechten (epilithisch wachsenden) Strauchflechten ungefähr doppelt so hohe maximale Wasserretentionen gemessen worden wie bei den beiden terrestrisch gewachsenen. Aus den Flächengewichten läßt sich ableiten, dass dieser Effekt nicht auf geringere strukturelle Masse und damit eine geringere Retentionskapazität zurückzuführen ist. Bezogen auf die Fläche wurde bei liegender *Usnea aurantiaco-atra* ein ähnlicher maximaler Wassergehalt wie bei den beiden Krustenflechten gemessen. Für *L. sciatrapha* bedeutet allerdings ein maximaler Wasser“gehalt“ von 1,16 mm bei einer Thallusdicke von 250 µm eine Überstauung von 0,91 mm. Das Wasser war also hauptsächlich extern lokalisiert. *Placopsis contortuplicata* hingegen, mit Thallusstärken bis 1 mm, war in der Lage, einen Großteil des Wassers im Thallus aufzunehmen. Bemerkenswert ist weiterhin, dass die dreidimensionale Struktur der beiden terrestrischen Strauchflechten nicht zu vergleichsweise höheren Wassergehalten gegenüber den Krustenflechten führte.

Die Moose wiesen generell höhere Flächengewichte auf, was teilweise auf das Vorhandensein von braunen – vielleicht toten – basalen Teilen von Polstern und Matten zurückzuführen ist. Gleichwohl dienen diese Teile den Pflanzen als Wasserspeicher. Mit maximalen Werten zwischen 2,5 mm und 15 mm Wasser lagen die Moose teilweise sogar weit über den epilithischen Strauchflechten. Auf Trockengewichtsbezug wurden bei den teppichbildenden Arten höhere Werte festgestellt als bei Polster ausbildenden Arten.

In Abb. 3.35 wird der zeitliche Verlauf der Wassergehalte der Thalli verschiedener Flechten- und Moosarten im Zeitraum vom 1.2. bis zum 28.2.1997 dargestellt. Während dieses Zeitraumes fielen wiederholt Niederschläge unterschiedlicher Stärke.



**Abb. 3.35:** Zeitlicher Verlauf von Wassergehalten der Strauchflechten *Usnea aurantiaco-atra*, *Usnea antarctica*, *Himantormia lugubris*, den Krustenflechten *Lecidea sciatrapha* und *Placopsis contortuplicata*, den pleurocarpen Moosen *Calliergon sarmentosum* und *Sanionia uncinata* sowie polsterförmiger *Andreaea regularis* und zusammengesetzener *A. gainii*. Zur besseren Vergleichbarkeit mit Niederschlagswerten wurden die Wassergehalte auf die Projektionsfläche der Pflanzen bezogen (in mm) angegeben. Die Zahlen hinter den Artnamen entsprechen den nächstgelegenen Standorten aus den zuvor gezeigten Versuchen an.



Die beiden epilithisch wachsende Thalli von *Usnea aurantiaco-atra* (aufrecht) und *U. antarctica* zeigten im zeitlichen Verlauf sehr ähnliche Verhalten. Während der trockenen Perioden wurden ähnliche minimale Wassergehalte erreicht, bei Niederschlag erreichte *U. aurantiaco-atra* meist 30 % höhere Werte – dieses Ergebnis korrespondiert mit dem 30 % höheren Flächengewicht (siehe Tab. 3.3). In den vier Wochen trockneten beide Flechten siebenmal vollständig aus. Insgesamt 16 Maxima des Wasser“gehaltes“ wurden erreicht. Der erreichte Maximalwert schwankte bei beiden Arten, was nach Feldbeobachtungen auf die von der Niederschlagsart und den Windverhältnissen abhängige Bildung von Tropfen und Wasserfilmen auf der Oberfläche zurückzuführen war (siehe Abb. 3.34).

Für liegende *U. aurantiaco-atra* und terrestrische *Himantormia lugubris* war der Verlauf der Wasser“gehalte“ prinzipiell dem der anderen beiden Strauchflechtenthalli ähnlich. Die Lage der Minima und Maxima korrespondiert miteinander, die absolute Höhe des gespeicherten Wassers blieb jedoch durchweg geringer. Weder ließ sich eine schnellere noch eine langsamere Aufsättigung oder Austrocknung beobachten. Eventuell könnten aber trotzdem signifikante Unterschiede bestehen, die aber aufgrund des groben Messrasters nicht erkannt werden konnten.

Die beiden untersuchten Krustenflechten, *L. sciatrapha* und *P. contortuplicata*, folgten dem gleichen Muster wie die Strauchflechten, jedoch auf niedrigerem Niveau. Bei den Maxima ließ sich bei beiden Arten eine leichte Plateaubildung erkennen, wie z.B. am 23. und 24. Februar. Eine Stabilisierung auf einem Maximalwert trat mit Auftreten so starker Wasserfilme auf, dass Wasser abfließen konnte. Merkwürdig mutet der hohe Restwassergehalt bei *Lecidea sciatrapha* an. Mit einer Stärke vom ca. 0,2 mm (bei einer entsprechenden Thallusstärke) wäre demnach die Flechte selbst bei trockenstem Wetter, wie z.B. am 27. Februar, noch völlig eingequollen. Ein Erklärungsversuch für dieses Artefakt ist, dass der Stein selber diese Wassermenge aufgenommen hat. Die Wassermenge entsprach 5,3 ‰ des Gesteinsgewichtes (ca. 0,5 g auf 94,2 g Gesteinsgewicht).

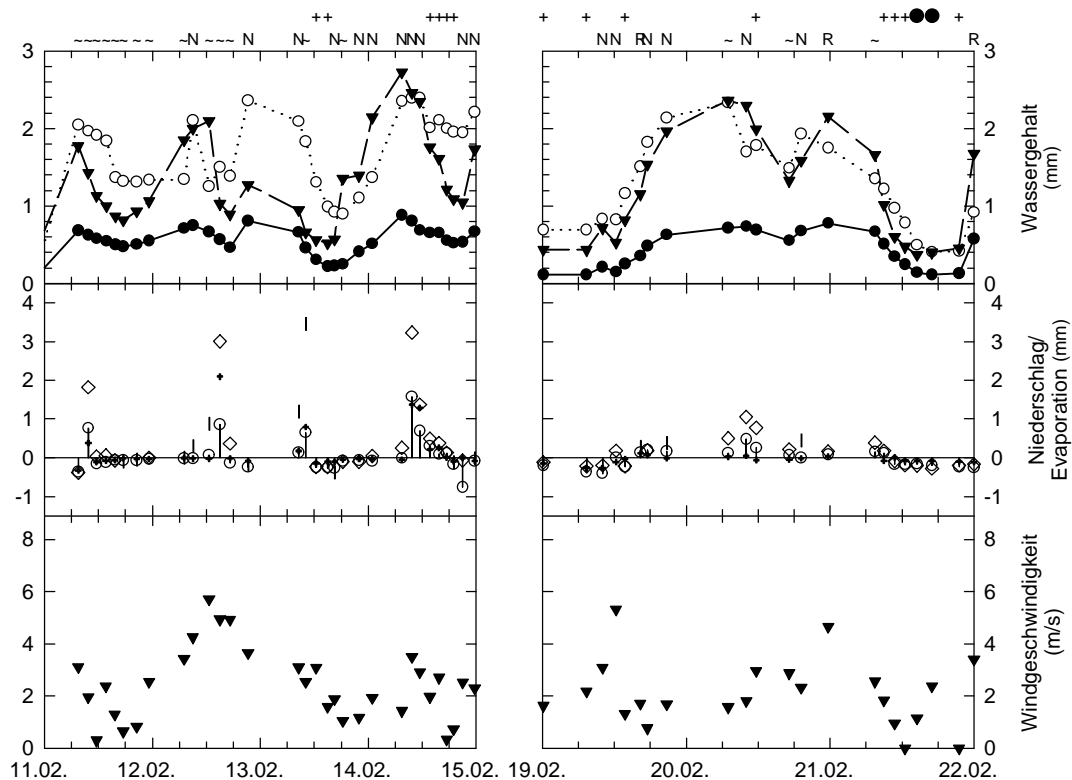
Die teppichbildenden Moose *Sanionia uncinata* und *Calliergon sarmentosum* wiesen eine Wasserspeicherung bis ca. 10 mm auf. Die im Falle von *C. sarmentosum* erreichten Spitzenwerte lassen sich auf am Standort zusammengelaufenes Wasser zurückführen, durch das diese Überfeuchte erreicht wurde. Schon beim Transport zur Waage lief ein Teil des Wasser ab. Unter Nichtberücksichtigung dieser vier Werte ähnelten sich die Wassergehalte von beiden Arten weitgehend. Im Vergleich zu den

Flechten waren die Schwankungen langfristiger. Aufgrund der Wasserspeicherkapazität oberhalb von durchschnittlichen Niederschlägen, erfolgte eine Aufsättigung auf Maximalwerte innerhalb von Tagen. Mit beginnendem Regen am Abend des 7. Februar erreichten alle Flechten innerhalb von 3 Stunden maximale Werte. Für eine Krustenflechte reichte dafür weniger als 1 mm Niederschlag, während bei den Moosen nur ca. 10 % des Wasservorrates mit der gleichen Menge aufgefüllt werden konnten. Die geringere Kapazität des *Sanionia*-Teppichs korrespondiert mit dem geringeren Flächengewicht. Da der Kurvenverlauf in gedämpfter Form weitgehend dem von *Sanionia*-„Polstern“ entspricht und maximale Wassergehalte auch nicht eher erreicht wurden, ist jedoch anzunehmen, dass die standörtlich spezifischen Niederschlags- und Verdunstungsverhältnisse diese Dämpfung bewirkten und nicht die geringere Wasserhaltekapazität.

Die beiden Moose aus der Gattung *Andreaea*, *A. gainii* und *A. regularis*, zeigten ein sehr unterschiedliches Verhalten bei der Wasseraufnahme und -abgabe. Das zusammenfließende Polster (rasenartig) von *A. gainii* verhielt sich ähnlich wie z.B. *Sanionia uncinata*. Langfristig wurde Wasser akkumuliert und allmählich wieder abgegeben. Auch die hohe Aufnahmekapazität von 8 mm Niederschlag ähnelte der von *S. uncinata*. Eine auffällige Abweichung beider Kurven trat zwischen dem 13. und 16. Februar auf. Während *A. gainii* allmählich Wasser verlor, sättigten sich die übrigen Moosen und Flechten weiter bzw. wiederholt auf. Während dieser Zeit war die Windgeschwindigkeit niedrig (<6 m/s) und die rel. Luftfeuchte lag zwischen 95-100 %.

Mit einer nur geringen Wasserspeicherung von 2,56 mm verhielt sich das kleine Polster von *A. regularis* ähnlich wie eine Flechte. Die Aufsättigung bis zur maximalen Kapazität erfolgte relativ schnell, während die Wasserabgabe etwas langsamer als bei Flechten war, wie z.B. am 5. und am 20. Februar zu beobachten war.

Nun blieb die Frage zu klären, inwieweit apparente Niederschläge mit den gleichzeitig gemessenen Wassergehalten bei Moosen und Flechten korrespondieren. In der Abb. 3.36 sind das aktuelle Witterungsgeschehen zum Messzeitpunkt, Wassergehalte von den beiden Formen von *Usnea aurantiaco-atra* und dem Moos *Andreaea regularis* und die Niederschläge sowie die Windgeschwindigkeit auf der Kuppe (Standort 7) wiedergegeben.



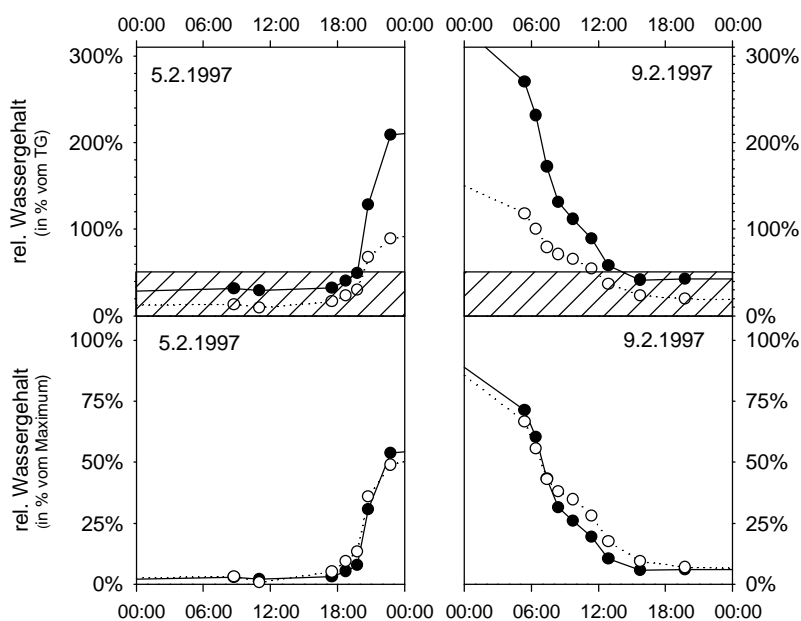
**Abb. 3.36:** Witterungsverhältnisse, Thalluswassergehalte, Niederschlag/Evaporation und Windgeschwindigkeiten im Bereich einer Hügelkuppe bei Great Wall Station, Fildes Halbinsel im Februar 1997. Witterungsverhältnisse: + bedeckt, ●= sonnig, ~=Nebel, N=Niesel und R=Regen., Wassergehalte: ●=*Usnea aurantiaco-atra* (liegend), ▼=*Usnea aurantiaco-atra* (stehend), ○= *Andreaea regularis*; Niederschlag/Evaporation wurde an Standort 7 gemessen: ◇ mit Stab, ○ normaler Sammler (mit Falllinie), ♦ durch Strauchflechten abgedeckter Sammler. Die Windgeschwindigkeit wurde ebenfalls an Standort 7 gemessen.

Während der ersten dargestellten Periode vom 11.2. bis zum 15.2. herrschte fast ständig Sprühregen oder Nebel. Trotzdem kam es bei allen Arten zu starken Schwankungen im Wassergehalt. Die vier starken Niederschläge im Bereich von einem 1 mm (in 1 ½ bzw. 2 Stunden) führten bei keiner Art zu den entsprechenden Zuwächsen im Wassergehalt. Bei starken Winden verlor aufrecht wachsende *Usnea aurantiaco-atra* trotz 1 mm Niederschlag in der gleichen Zeit 1 mm Wassergehalt. Während mit den Sammlern Evaporation gemessen wurde, trockneten die Thalli in der Regel aus. In der Nacht vom 13. zum 14.2. sättigten jedoch alle Thalli bis in den Bereich ihrer maximalen Wassergehalte auf, ohne dass nennenswerte Niederschläge gemessen wurden.

Die zweite dargestellte Periode umfaßte einen dreitägigen vollständigen Befeuchtungs- und Austrocknungszyklus aller Arten. Hier wurden am 19.2. andauernd geringe Niederschläge gemessen, die zu einer immer stärkeren Befeuchtung der Moos- und Flechtenthalli führen. Am 20.2. blieben die Thalluswassergehalte infolge wiederholter Niederschläge nahe an ihrem Maximum. Am 21. trockneten die Thalli aus während gleichzeitig auch eine stärkere Evaporation gemessen wurde, die

Austrocknung begann aber schon als noch Niederschläge gemessen wurden. Im zweiten Zeitraum korrespondierten die Befeuchtungs- und Austrocknungszyklen recht gut mit den gemessenen Niederschlägen.

Aus den durchgeführten Untersuchungen wird deutlich, dass die absoluten Niederschlagsmengen allenfalls einen marginalen Einfluß auf die Befeuchtungsvorgänge haben dürften. Erst bei stärkeren Niederschlägen wurde von den niederliegenden Thalli von *Usnea aurantiaco-atra* das Traufwasser an den Boden abgegeben, jedoch nicht bei Nebel. Anhaltender Nebel führte bei keiner Art zu einer Aufsättigung, sondern die Thalli verloren sogar Wasser.



**Abb. 3.37:** Aufsättigung und Austrocknung von *Usnea aurantiaco-atra* (● aufrechte Form, ○ liegende Form) in Bezug auf Trockengewicht und in Prozent vom maximalen Wassergehalt. Der Bereich in dem der CO<sub>2</sub>-Stoffwechsel stark eingeschränkt ist, wurde schraffiert.

In Abbildung 3.37 sind noch einmal die Wassergehalte der aufrechten und der liegenden Form von *Usnea aurantiaco-atra* miteinander verglichen. Auf Trockengewichtsbasis weichen die absoluten Aufnahme- und Abgaberaten, ebenso wie auf Flächenbezug (vgl. Abb. 3.36), um einen fast konstanten Faktor voneinander ab. Die aufrechte Form nimmt etwas mehr als doppelt so viel Wasser an als die liegende. Vergleicht man die Aufnahme und die Wasserabgabe nur in Relation zum maximalen Wassergehalt (unter Teil von Abb. 3.37), so ergeben sich fast identische Kurvenverläufe.

## 4 Diskussion

Für die Vegetationsuntersuchungen dieser Studie wurden gezielt Standorte mit einer dichten Vegetationsdecke mit einem hohen Strauchflechtenanteil aufgesucht. Auf Ardley Island traten die gesuchten Vegetationsformationen großflächig über die ganze Insel verteilt auf, auf der Potter Halbinsel beschränkte sich dies auf ca. 1 ha und auf der Fildes Halbinsel traten solche Gesellschaften nur rudimentär auf. Bei den untersuchten Gesellschaften handelte es sich um so seltene Bildungen, dass sie in LINDSAY's (1971) Bearbeitung der Vegetation der Süd-Shetland-Inseln keine Erwähnung fanden. Die bisherigen Fundangaben zu einigen in den Untersuchungsflächen vorkommenden Moosarten belegen den Sonderstatus der ausgewählten Standorte. *Polytrichum strictum* kam auf Ardley Island innerhalb eines Transektes vor und wurde auch auf der Potter Halbinsel im Bereich der Untersuchungsflächen gefunden. OCHYRA (1998) gibt hingegen nur einen Fundort von Ardley Island und keine Funde von King George Island an. LINDSAY fand diese Art auf King George Island nicht (GREENE *et al.* 1970). Für *Chorisodontium aciphyllum* sind nur wenige Lokalitäten von King George Island bekannt, nur im Bereich der Fildes und der Barton Halbinsel sollte die Art häufiger sein (OCHYRA 1998). Die Untersuchungsflächen auf der Potter Peninsula sind außerdem der einzige bekannte Standort von *Notoligotrichum trichodon* (Hook. f. et Wils.) G.L.Sm. (SCHULZ *et al.* 1998, OCHYRA 1998). Die beiden erstgenannten Arten können in anderen Bereichen der maritimen Antarktis, wie z.B. auf dem nördlicher gelegenen Signy Island, vegetationsprägend sein (z.B. SMITH 1972) und sogar Torfe mit großer Mächtigkeit aufbauen (SMITH 1972, BAKER 1972, COLLINS 1976). LINDSAY (1971) fand auf den Süd-Shetland-Inseln jedoch nur vergleichsweise schwache Vorkommen mit geringer Neigung zur Torfbildung. Aufgrund dieser Befunde kann im Bereich von King George Island von einer floristischen Sonderstellung der untersuchten Vegetation ausgegangen werden. Auch im Bereich der Süd-Shetland-Inseln ist eine solche Vegetationsausprägung wahrscheinlich sehr selten (vgl. GREENE *et al.* 1970, LINDSAY 1971, SANCHO *et al.* 1999).

Eine Klassifizierung der Vegetation innerhalb des für die Antarktis am meisten gebrauchten Systems (HOLDGATE 1964, LONGTON 1967, GIMINGHAM & SMITH 1970, SMITH & GIMINGHAM 1976) ist für die an den Transektbasen vorkommende Vegetation unproblematisch, während die Flanken- und Kuppenbereiche sich nicht diesem

System zuordnen lassen. Das Klassifizierungssystem orientiert sich hauptsächlich an Wuchsformen von Flechten und Moosen (GIMINGHAM & BIRSE 1957, LONGTON 1988). So sind die Kuppenbereiche mit dominanter *Usnea aurantiaco-atra* der Subformation der Strauch- und Blattflechten zuzuordnen, während einige Bereiche mit starkem Auftreten von *Chorisodontium aciphyllum* der Subformation der Hochrasen zugeordnet werden müssten. Auch die in unterschiedlichen Verhältnissen auftretende Kombination von *Himantormia lugubris* und *Sanionia uncinata* würde je nach der konkreten Ausprägung der Strauchflechtensubformation oder der Subformation der Moosmatten und -teppiche zuzuordnen sein. Mit den Subformationen und den sie charakterisierenden Wuchsformen werden unterschiedliche ökologische Eigenschaften verbunden (GIMINGHAM & SMITH 1970, DURING 1979), die jedoch nicht gleichzeitig zutreffen können. Moosteppiche sind demnach typisch für feuchte, geschützte Standorte, während Strauchflechten hauptsächlich in trockenen, windgefehten und felsigen Habitaten vorkommen (z.B. LONGTON 1988, SMITH 1996). Die Schwierigkeiten mit der Einordnung von Kryptogamenvegetation sind schon mehrfach in Hinblick auf die Substratheterogenität diskutiert worden (Kappen 1985b, PALMER & DIXSON 1990).

*Per se* können enge Vergesellschaftungen von Moosen und Flechten in der maritimen Antarktis nicht so selten sein, da auch bereits SMITH (1996) feststellte, dass Flechten auch an geschützten, feuchten Standorten zusammen mit Moosen intensiv auftreten können. Von dem nördlich der Süd-Shetland-Inseln gelegenen Elephant Island ist die Besiedlung von *Chorisodontium aciphyllum*-*Polytrichum strictum* Beständen durch verschiedene Strauchflechten, insbesondere durch *Alectoria chalbeiformis* und *Pseudephebe pubescens*, angegeben (ALLISON & SMITH 1973). Eine dichte Mischvegetation aus Moosen und Flechten, die einen weitgehend einschichtigen Aufbau aufweist, ist von den Süd-Shetland-Inseln von Livingston Island bekannt (SANCHO *et al.* 1999). Die wichtigsten Strauchflechtenarten waren dort aber *Stereocaulon alpinum* und *Sphaerophorus globosus*, welche in den jetzt untersuchten Flächen nur sehr vereinzelt auftraten.

Das gleichzeitige Auftreten verschiedener Wuchsformen in unterschiedlichen Mengenverhältnissen zeigt eine ökologische Zwischenstellung der hier untersuchten Standorte an. Aufgrund des insgesamt seltenen Vorkommens der untersuchten Vegetation und aufgrund des Fehlens von solchen verbindenden Vegetationseinheiten zwischen rein flechtendominierter Vegetation und reiner Moosvegetation,

ist von spezifischen edaphischen oder klimatischen Faktoren als Grundvoraussetzung für die Bildung dieser Vegetation auszugehen.

Eine mögliche Voraussetzung ist das Vorkommen von gut drainierten Grobschottern und Strandgeröllen, wie sie auf Ardley Island (BARSCH *et al.* 1985) und der Potter Halbinsel (HOCHSCHILDT 1995) im Bereich der Untersuchungsflächen vorkamen. Kryoturbate Prozesse waren nicht erkennbar. Damit dürften diese Standorte mechanisch wesentlich stabiler sein als Moränenkuppen oder Polygonböden, von denen eine hohe Mobilität bekannt ist (CHAMBERS 1966, 1967, BARSCH *et al.* 1985). Möglicherweise ist auch die gletscherferne Lage (> 1 km) der Standorte relevant, da über sehr lange Zeiträume eine Sukzession möglich war. BARSCH *et al.* (1985) geben als Zeitpunkt des endgültigen Verschwindens einer permanenten Eisbedeckung von Ardley Island 8000 Jahre vor heute an.

Bisher gibt es allerdings wenige Anhaltspunkte, wie schnell und wohin sich die Vegetation in der Antarktis überhaupt entwickelt und welche Stadien dabei durchlaufen werden. Der Prozeß der wissenschaftlichen „Meinungsfindung“ ist bei weitem noch nicht abgeschlossen und diese Arbeit soll einen Beitrag dazu liefern.

#### **4.1 Sukzession und Dynamik der Vegetation**

Für das Verständnis der Zusammenhänge zwischen den individuellen Präferenzen und Leistungen der einzelnen Arten und der konkreten Ausprägung der Vegetation wäre es interessant zu wissen, in welchen Zeiträumen sich die Vegetation überhaupt entwickelt hat. Mit Hilfe der Strukturanalysen wurde nach Anzeichen von zyklischer oder gerichteter Sukzession gesucht. Sowohl die Funde von Großresten rezent in einem Plot nicht mehr vorkommender Arten als auch das Auftreten abgestorbener Moosthalli unterhalb von Strauchflechten zeigen Veränderungen in der Vegetation an. Von SMITH (1972) wurde in Hinblick auf die antarktische Vegetation die These vertreten, dass „verschiedene Gesellschaften welche aneinandergrenzen, wenig Anzeichen für starke Konkurrenz oder eine gegenseitig Verdrängung böten, sondern einfach eine heterogene Zone bilden, in der sich die Bestände vermischen“. LONGTON & HOLDGATE (1979) konnten durch die Sektionierung von Moospolstern in der Antarktis, einen Fall von zyklischer Sukzession demonstrieren. Anhand solcher Befunde formulierte LONGTON (1988) als eine Hypothese, dass auch in sehr stabilen Gesellschaften Arten langsam ersetzt werden können, aber die Prozesse für eine einfache Identifikation zu langsam ablaufen. In der kontinentalen Antarktis (Wilkes Land) wurde von SMITH (1990) die Vegetation in Hinblick auf die Dynamik untersucht,

jedoch wurden keine Indikatoren für eine Sukzession gesucht, sondern allein das aktuelle Verteilungsmuster der Arten mit der Exposition der Arten zu Wind und Feuchtigkeit verglichen. Direkte Beweise für eine gerichtete oder ungerichtete Vegetationsentwicklung wurden jedoch nicht präsentiert.

Einen indirekten Hinweis auf die Geschwindigkeit, mit der Entwicklungen in der Vegetation stattfinden, könnte ein Vergleich der individuellen Alter der aufbauenden Arten liefern.

Die Spanne der Altersschätzungen für ausgewachsene Thalli der häufigsten Flechte, *Usnea aurantiaco-atra*, reicht von 38 Jahren (WILLKOMM *et al.* 1991) bis hin zu 200 Jahren (HOOKER 1980b). Bisher gibt es jedoch noch keine Untersuchungen darüber, welche Faktoren zum Absterben von antarktischen Flechten führen. Es kommen hierfür sowohl endogene als auch exogene Faktoren in Betracht. Für *Usnea aurantiaco-atra* läßt sich aufgrund der hier festgestellten Relationen von Größenverteilung und Apothezienanzahl folgern, dass die Thalli nach der Apothezienbildung weiterwachsen und nicht absterben, wie dies z.B. für verschiedene *Cladonia* ssp. nachgewiesen wurde (JAHNS & OTT 1997). Es konnten auch keinerlei Feldbeobachtungen von großen, absterbenden Thalli gemacht werden, die sich an ihrem natürlichen Standort befanden. Abriß und Verfrachtung sowie Pilzinfektionen können jedoch die Bestände dezimieren (Beispiele siehe Anhang). In feuchte Senken verfrachtete tote Thalli wurden häufig beobachtet. Die infolge einer Pilzinfektion charakteristisch zerfallenden Thalli wurden bei den pflanzlichen Großresten unterhalb der lebenden Mooschicht gefunden.

An den Messstandorten mit einer dichten Vegetationsschicht mit hohem Strauchflechtenanteil wurde weder bei *Usnea aurantiaco-atra* noch *Himantormia lugubris* eine Neuansiedlung dieser Arten beobachtet, während an Standorten mit freiem Hartsubstrat alle Größenklassen (Altersstadien) vertreten waren. Besonders bei *H. lugubris*, wo lebende Flechten sich ausnahmslos in dem sie umgebenden Moosthallus bis auf den mineralischen Grund fortsetzten (in Form von Resten), ist von einer extremen Standortkonstanz und langsamen Entwicklung der Bestände auszugehen.

Die Produktivität von Moosen (LONGTON 1970, COLLINS 1973, GREEN *et al.* 1999) liegt in der Regel um ein Vielfaches höher als die von Flechten (z.B. HOOKER 1980 a,b). Die Dynamik der Moospopulation könnte also sehr viel größer sein als die von der



Flechtenpopulation. Die zahlreichen Funde von toten Thallusbezirken bei Moosen belegen jedoch, dass in der untersuchten Vegetation der Kuppenbereich und Hangflanken stellenweise suboptimale Bedingungen vorliegen müssen, die das Wachstum hemmen.

#### **4.2 Einfluß des Wasserhaushaltes auf die Vegetationsstruktur und die Konkurrenzverhältnisse**

AHMADJIAN (1970) ging davon aus, dass die Wasserverfügbarkeit einen größeren Einfluß auf die Verbreitung antarktischer Pflanzengesellschaften habe als die Temperatur. Diese These wurde mehrfach aufgegriffen und weiter ausgearbeitet (z.B. SMITH 1990, KENNEDY 1993b). Um einen möglichen Zusammenhang zwischen Vegetationsausprägung und Wasserhaushalt zu berücksichtigen, wurde im Rahmen dieser Arbeit erstmalig die kleinräumige Niederschlagsverteilung verschiedener Standorte gemessen und mit dem Wasserhaushalt verschiedener Wuchsformen verglichen.

Die Versuche mit den Regensammlern erbrachten standörtlich unterschiedliche Einträge von Niederschlägen. Der niederschlagsreichste übertraf den niederschlagsärmsten Standort um 79%. Eine einfache Beziehung zwischen der Geländemorphologie und den gemessenen Einträgen konnte jedoch nicht festgestellt werden. Evaporationsverluste von den gesammelten Niederschlägen dürften nur einen geringen Anteil an der großen Differenz zwischen den Standorten haben, da an Tagen mit starker Evaporation meist keine Niederschläge fielen. Nach den vorliegenden Ergebnissen ist eine Zuordnung von Niederschlagseintrag und Vegetationstypus nicht möglich. Die Hypothese, dass sich in windgeschützten Bereichen, wie z.B. Polygondepressionen, mehr vertikaler Niederschlag ansammeln müßte als auf ebenen, ungeschützten Flächen, ließ sich nicht bestätigen.

Dass die absoluten Niederschlagsmengen Einfluß auf das Wachstum von Flechten nehmen, legen z.B. die Untersuchungen von MATTHES-SEARS & NASH III (1986) nahe. Für Moose wurde ebenfalls ein positiver Zusammenhang zwischen Niederschlagsmengen und Produktivität belegt (VITT 1990). NASH III & MOSER (1982) demonstrierten, dass es zwar innerhalb der Sonora-Wüste (USA) eine enge Korrelation zwischen der jährlichen Niederschlagsmenge und der Flechten-Biomasse gibt, dass jedoch die extrem niederschlagsarmen Küstengebiete eine wesentlich

höhere stehende Flechtenbiomasse aufweisen, die nicht mit der geringen Niederschlagsmenge korrespondiert.

Beim Versuch zu Niederschlag und Evaporation (vgl. 3.2.5.2) ergaben sich zwischen den vier Standorten nur sehr geringe Unterschiede im Niederschlag (max. 12 %), jedoch zeigten sich deutliche Abweichungen in der Evaporation (max. 108 %). Die höchste Evaporation wurde dabei nicht auf der Kuppe, sondern an der Hangflanke gemessen, an der das Moos *Sanionia uncinata* an der Oberfläche stark verpilzt war. Es scheint wahrscheinlich, dass die Verpilzung von *Sanionia uncinata* durch sommerlichen Wasserstreß infolge hoher Evaporation gefördert wurde. An dem Standort wo vital das hygrische Moos *Calliergon sarmentosum* wuchs, und wo tote, verdriftete Thalli von *Usnea aurantiaco-atra* lagen, wurde die geringste Evaporation gemessen. SMITH (1990) hat in einem ähnlichen Versuch in der kontinentalen Antarktis klar ansteigende Evaporationswerte von geschützten zu exponierten Standorten gemessen. Für Flechten wurden meist wesentlich höhere Werte gemessen als für Moose, allerdings wurden an unterschiedlichen Standorten von dem Moos *Schistidium antarctici* teilweise sehr hohe und teilweise sehr niedrige Werte gemessen.

Während bei Moosen angenommen wird, dass einzelne Gruppen unterschiedlich an die Evaporationsverhältnisse am Standort angepaßt sind (z.B. GIMINGHAM & SMITH 1971, NOAKES & LONGTON 1988), gibt es bei Flechten wohl keine Korrelation zwischen Habitat und Evaporationsverhalten der einzelnen Arten (BLUM 1973).

Die zum Einfang von horizontalem Niederschlag mit Stab ausgerüsteten Sammler steigerten die Sammelergebnisse an den jeweiligen Standorten auf 177 bis 258 %. Da die Stäbe massiv waren, kann davon ausgegangen werden, dass eine feingliedrige Strauchflechte noch effektiver Wasser „auskämmen“ kann.

Ein direkter Vergleich zwischen Sammler und realen Flechten war nicht möglich, da die Sammler im Vergleich zum Niederschlag über eine sehr große Aufnahmekapazität verfügten, die Flechten jedoch nur eine begrenzte Menge an Wasser aufnehmen können.

Der Trauf, der unter *Usnea aurantiaco-atra* gemessen wurde, entsprach nur einem Drittel des Sammelertrages der mit Stab ausgerüsteten Sammler. Somit verbleibt der überwiegende Teil des eingefangenen Wassers in den Flechten und wird von dort

wieder direkt in den Luftraum abgegeben. Die Wasserrückhaltekapazität scheint in erster Näherung gut auf den Standort ausgelegt zu sein. Die direkte gravimetrische Bestimmung der Kapazität von Moosen und Flechten zeigte jedoch, dass in Bezug auf die absoluten eingefangenen Wassermengen die liegenden Thalli nur halb so viel Wasser einfangen können, wie aufrechte, freistehende Thalli. KAPPEN und REDON (1987) maßen an derselben Art zwischen liegenden und aufrechten Thalli nur einen geringen, invertierten Unterschied in der Wasserrückhaltekapazität (202 % vs. 178 %). Das abweichende Ergebnis dieser Untersuchung ist wahrscheinlich auf eine unterschiedliche Probenbehandlung zurückzuführen, da bei KAPPEN und REDON überschüssiges Wasser über Schütteln oder Aufsaugen mit Filterpapier entfernt wurde. Die große Differenz von 178 % (KAPPEN & REDON 1987) zu 345 % (hier) bei aufrechten Thalli könnte damit erklärt werden, dass ca. die Hälfte des gehaltenen Wasser äußerlich an den Fibrillen haftet (vgl. auch Abb. 3.34). Die trotz unterschiedlicher Probenbehandlung ähnlichen Werte bei liegender *U. aurantiaco-atra* (202 % vs. 174 %) sind auf den Mangel an Fibrillen zurückzuführen. Tropfenbildung wurde kaum beobachtet. Die geringe Traufmenge unterhalb der Flechte spricht jedenfalls dafür, dass auch weniger Wasser von niederliegender *Usnea aurantiaco-atra* gefangen wurde, als bei aufrecht wachsender.

Der Wasserhaushalt von maritim Antarktischen Kryptogamen wurde auch von SMITH (1988) untersucht. Er stellte anhand von Laborexperimenten bei Moosen und Flechten ein grundsätzlich ähnliches Verhalten fest, jedoch wurde bei Moosen eine vollständige Austrocknung innerhalb mehrerer Tage erreicht, während sich dieser Vorgang bei Flechten innerhalb weniger Stunden vollzog. Bei Moosen wurde von ihm – scheinbar paradox – eine positive Korrelation zwischen Wasserhaltekapazität und der (geschätzten) Wasserverfügbarkeit am Standort festgestellt. Bei Moosen geht dies mit morphologischen Veränderungen einher, wie z.B. kleineren Zell- und kleineren Blättchengrößen zum trockneren Standort hin (z.B. PROCTOR 1984, WILSON 1990).

Scheinbar paradox ist die Situation deshalb, weil gerade auf den Standorten mit einer geringeren Verfügbarkeit von Wasser eine verbesserte Wasserspeicherung die Aktivitätszeiträume und damit die Produktivität erhöhen würde. SCHLENSOG (2000) demonstrierte deutlich, dass Moose trockener Standorte schneller inaktiv werden und daher im aktiven Zustand mit ungünstigeren Licht- und Temperaturbedingungen

auskommen müssen als hydrische Moose. Es wäre „überevorsichtig“ von dem Moos, wenn das vorzeitige Austrocknen eine Vermeidungsstrategie ungünstiger Lebensbedingungen bedeuten würde. Ein anderer Ansatz zur Erklärung ist einfacher, nämlich dass die Moose über ihren Wuchs nur schwach die mangelhafte Wasserversorgung kompensieren können. Nach Untersuchungen von FOWBERT (1996) steigt das Wachstum proportional zum Wassergehalt. In anderen Worten: je besser die Wuchsbedingungen sind, desto besser sind gelingt es den Moosen, ihre eigenen Bedingungen zu stabilisieren.

Auf der untersuchten Kugelkuppe auf Ardley Island trat z.B. *Chorisodontium aciphyllum* häufig kleinflächig und im Zentrum der Rasen abgestorben oder durch epibrye Flechten besiedelt auf. Mitten im Transekt A3 jedoch trat es in einem mehrere Quadratmeter großem Bestand zusammen mit *Polytrichum strictum* auf und war weitgehend vital mit einer klaren Abgrenzung zu *Usnea aurantiaco-atra*. Dieser Flecken hatte keine offensichtlichen Ursachen wie z. B. besonderes Mikrorelief oder Exposition. Dies alles deutet darauf hin, dass die Etablierung der Wasserspeicherung sich über längere Zeiträume hinziehen kann und dass das Zusammenwirken von Wasserspeicherung und Wachstum wahrscheinlich ein positiv zurückgekoppelter, selbstverstärkender Prozess ist.

Die festen Niederschläge und langfristige Schneebedeckung können einen hohen Erklärungswert für die Ausprägung der Vegetation haben (z.B. FLOCK 1978, KAPPEN 1985b, KAPPEN *et al.* 1990, BENEDICT 1991, WINKLER 2000). WINKLER (2000) stellte auf der Potter Halbinsel eine gute Übereinstimmung der Vegetationsausprägung mit sowohl der Dauer als auch der Höhe der Schneebedeckung fest. Eine kausale Analyse, um andere, ebenfalls vom Relief abhängende Faktoren wie z.B. die sommerliche Wasserverfügbarkeit, gegen die Wirkungen der Schneedecke zu differenzieren, gab sie jedoch nicht. Sowohl für Flechten (z.B. GANNUTZ 1970, BENEDICT 1990) als auch für Moose (COLLINS 1977) wird die Schneebedeckung insbesondere dann ein Problem, wenn zu lange ein Lichtabschluß in Kombination mit Schmelzwasser auftritt. Für Moose wird bislang der respiratorische Kohlenstoffverlust für den „Snow-Kill“ verantwortlich gemacht. Bei Flechten müssen zusätzlich noch Kohlenhydrat- und Mineralstoffverluste bei Wasserimmersion in Betracht gezogen werden (RIED 1960, FARRAR & SMITH 1976). Dauerfeuchte unter Lichtabschluß durch Schneebedeckung trat am Standort von *Sanionia uncinata* und *Calliergon*

*sarmentosum* auf, an dem Strauchflechten völlig fehlten. Die Totfunde von *Usnea aurantiaco-atra* am *Calliigon sarmentosum*-dominierten Standort 10, sprechen ebenfalls dafür, dass solche Bedingungen am Standort nicht toleriert werden und dass die Abwesenheit von *Usnea aurantiaco-atra* an solchen hygri-schen Standorten nicht auf Substratmangel zur Ansiedlung zurückzuführen ist. Der tödliche Effekt von Schnee trat auch auf gut drainiertem Substrat ein und selbst dann, wenn sich die Flechte nach einem Gesteinsabbruch noch 20 cm über der Bodenoberfläche befand (siehe Anlage a).

Für Flechten in der maritimen Antarktis ist ein Schutz vor tiefen Temperaturen, als der die Schneedecke auch fungiert, wahrscheinlich nicht notwendig, da nur extreme Temperaturstürze im feuchten Zustand Frostschäden hervorrufen können (BENEDICT 1990). Selbst die in temperaten Breiten vorkommende Flechten sind meist in der Lage, weit extremere Temperaturen schadlos zu überstehen, als in der maritimen Antarktis auftreten (KAPPEN & LANGE 1972).

Sehr wichtig dürfte bei Arten, die unter einer nur dünnen Schneedecke vorkommen, jedoch die häufig wiederkehrende Befeuchtung sein. Einmal freigetaut wird die Lücke (snow-melt-pocket) durch neuerliche Schneefälle oder Driftschnee aufgefüllt. Die Bildung von Schneetaschen wurde verschiedentlich schon als statische Bildungen beschrieben (LARSON & KERSHAW 1975, KERSHAW 1983, WINKLER 2000), jedoch scheint gerade im windigen Klima der maritimen Antarktis eine häufige Verfüllung der Tasche die Regel zu sein. Während der kalten Jahreszeit mit weitgehender Schneebedeckung der Landschaft können die Moose und Flechten solcher Standorte von einem sonnigen Tag profitieren, weil die Temperaturen über 0 °C steigen können (WINKLER 2000).

Auch während der Sommermonate von November bis Februar fielen mindestens 1/3 der Niederschlagsmenge als Schnee, der gerade in den Strauchflechtenthalli akkumuliert wurde. Bei Moosen führten sporadische Schneefälle in der Regel zu einer Befeuchtung und einer Temperaturstabilisierung auf konstant 0 °C, während bei Strauchflechten keine solche Stabilisierung zu beobachten war. Angesichts der Häufigkeit der Schneefälle im Sommer, immerhin wurden an 36 von 125 Messtagen Schneefälle gemessen, und der längeren Verfügbarkeit von Schnee als Wasserquelle dürfte Schnee auch im Sommer einen wesentlichen Beitrag zum nutzbaren Wasser für Kryptogamen leisten. Eine Befeuchtung durch Schnee kann auch durch

Wasserdampf erfolgen (KAPPEN 1990, 1993b), womit bei Temperaturen knapp unter dem Gefrierpunkt bei Schneebedeckung von einer langanhaltenden Aktivität von Flechten ausgegangen werden kann.

Es war zu klären, in wie weit die Vegetationszusammensetzung von der Wasserverfügbarkeit geprägt ist, oder ob z.B. die Dauer der Schneebedeckung prägenden Einfluß ausübt, wie SMITH (1972), WINKLER (2000) und MELICK & SEPPELT (1994) annehmen. Die Anlage der Transekte für diese Arbeit erfolgte unter der Annahme einer abnehmenden Schneebedeckung von den Kuppen zur Senke hin. Für die schneefreie Zeit wurde ein Gradient mit zunehmender Feuchtigkeit zu den Senken hin angenommen. Die Niederschlagsmessungen entsprachen diesen Erwartungen nicht.

### **4.3 Einfluß der Pigmentierung und Wuchsform auf die Bedingungen am Standort**

Der Farbe von Flechten wird als Anpassung an starke Einstrahlung am Standort gewertet (AHMADJIAN 1970, KAPPEN 1993a). Die starke Pigmentierung kann dabei genetisch bedingt sein, wie z.B. bei *Pseudephebe pubescens*, als auch eine „plastische Antwort auf Einstrahlung“ (KAPPEN 1993a) sein. Es gibt Hinweise darauf, dass eine starke Pigmentierung der Flechten die Photosysteme im aktiven Zustand vor Überlastung schützt (KAPPEN 1983), allerdings scheint eine solche Abschirmung weder für Flechten noch für Moose zwingend notwendig zu sein (SCHLENSOG 2000). Über die Schutzwirkung einer starken Pigmentierung im eingetrockneten Zustand ist bislang wenig bekannt.

Einerseits sind Flechten „extrem exponierter“ Standorte verschwärzt (KAPPEN 1993a), andererseits sind gerade die Moose von Schneetälchen dunkel gefärbt. Über die Filterung der für den Stoffgewinn relevanten Temperatur- und Lichtbedingungen durch den Wasserstatus der Organismen kann es während der aktiven Phasen durchaus zu sehr ähnlichen Bedingungen zwischen „exponiert“ und geschützter wachsenden Exemplaren kommen (SCHULZ & SCHROETER 2000). Bei stärkeren Winden können sich die Verhältnisse sogar umkehren. Bei *Himantormia lugubris* wurden hier z.B. extremere Temperaturen an terrestrischen Beständen gemessen als am exponierterem epilithischen Bestand. Durch die durch Poikilohydrie bedingte Austrocknung gelten für den aktiven Zustand relativ ähnliche Licht- und

Temperaturbedingungen für verschiedene Arten, Standorte, Wuchsformen und Färbungen (KAPPEN 1985a, SCHLENSOG 2000).

Es ist mehrfach nachgewiesen worden, dass die Flechtenfärbung Einfluß auf das Temperaturregime der Flechten nimmt (LANGE 1954, KERSHAW 1973). Erwartungsgemäß müssen dunklere Flechten stärkere Temperaturschwankungen erfahren als heller gefärbte, da sie in ihrem Temperaturverhalten schwarzen Körpern ähneln. An den grauen Regentagen des antarktischen Sommers, an denen die Feuchte für optimale Photosynthese ausreicht, sind die Strahlungseffekte allerdings recht gering (maximal 1-2 K), zumal die Wärmekapazität des Wasser einen stark dämpfenden Effekt hat.

Wenn also die Notwendigkeit eines starken Filters für Licht (siehe SCHLENSOG 2000) während der stoffwechselaktiven Phase verneint wird und der sommerliche Temperatureffekt zu gering ist, um die starke Abschwächung durch die Pigmentierung zu kompensieren, so wirkt sich im Sommer eine dunkle Färbung nachteilig für die Organismen aus.

Nach eigenen Beobachtung sind einige Standorte, an denen verstärkt dunkel gefärbte Arten (*Himantormia lugubris*, *Andreaea* ssp., *Herzogobryum teres*) vorkommen, im Winter und Frühjahr von einer geringmächtigen Schnee-/Firnschicht bedeckt (10-20 cm stark). Im Frühjahr ist eine solche Schneeschicht durch Rekristallisation relativ lichtdurchlässig (WALTON 1984), so dass die schneebedeckte Vegetation 20-30% vom Tageslicht erreichen. Unter solchen Lichtbedingungen ist eine positive Kohlenstoffbilanz möglich (KAPPEN 1985c, 1989). Bei einer vorsichtigen Grabung zeigte sich, dass sich über der Vegetation durch Wegschmelzen eine ca. 1 cm starke Hohlräume gebildet hatte. Dies weist darauf hin, dass besonders bei Umgebungstemperaturen unter dem Gefrierpunkt und dem Einschluß in einer lichtdurchlässigen Schneedecke, die dunkle Färbung das Aufschmelzen von Schnee erleichtert und damit die Aktivitätszeiträume maßgeblich verlängert. Bei fast allen Arten von Moosen und Flechten wird durch eine geringe Temperatursteigerung im Bereich um 0° C eine deutliche Steigerung der Photosynthese erreicht (z.B. LÖSCH *et al.* 1983, KAPPEN 1983, KAPPEN *et al.* 1991).

#### **4.4 Biogene Wechselwirkungen am Standort**

Gegenseitige Beziehungen zwischen den Arten können sowohl fördernder als auch hemmender Natur sein. Während allgemein eher die hemmende Komponente (= Konkurrenz) als prägende Kraft betrachtet wird, haben zahlreiche Studien inzwischen gezeigt, dass wohl ebenso häufig auch Synergismen auftreten (siehe BENGTON *et al.* 1997). Nach GRIME's (1979) Hypothesen ist auf unproduktiven Standorten nur mit schwachen Konkurrenzeffekten zu rechnen, was z.B. von TILMAN (1982, 1988) bezweifelt wurde. TILMAN ging für eine unproduktive Umgebung von einem ebenso starken Einfluß von Konkurrenz auf die Vegetation aus, wie in einem produktiven Ambiente. Die Grundannahme dafür war, dass die limitierenden Ressourcen in unterschiedlich produktiven Umgebungen ebenso unterschiedlich sind. In Hinblick auf die Anpassung von Pflanzen an Streß bemerkte LARCHER (1994), dass auf abiotisch günstigen Standorten Wettbewerbsdruck und somit Verdrängungsstreß herrscht, während auf Grenzstandorten klimatischer-edaphischer Streß vorliegt. In etwa entspricht ein solcher Standpunkt also dem von GRIME. Bislang konnte für diese kontrovers diskutierte Frage keine allgemeingültige Lösung gefunden werden. Eine zusammenfassende Darstellung dieser Problematik findet sich in GOLDBERG & NOVOPLANSKY (1997).

In der Antarktis sind bisher keine Studien direkt zu Konkurrenz und Synergismen durchgeführt worden. LONGTON (1988) hält Interaktionen für einen von fünf die Vegetationsstruktur bestimmenden Faktoren (weitere sind: Verfügbarkeit von Verbreitungseinheiten, Umweltfaktoren, inerte Eigenschaften der Kolonieentwicklung und gerichtete und zyklische Sukzession).

Die vorliegenden Untersuchungen haben gezeigt, dass es zahlreiche Indizien für starke Interaktionen innerhalb der artenreichen Vegetation gibt. Dafür sprechen das gehäufte Auftreten von abgestorbenen Moosthalli unter Strauchflechten, die starken Veränderung des Mikroklimas unter Strauchflechten und die ungleichen Häufigkeiten in exponierten und abgeschatteten Bereichen. Anhand der Großreste ließ sich zeigen, dass eine Sukzession stattfand, bei der Arten von ihrem Standort verdrängt wurden.

Konkurrenz erfolgt vorwiegend um den Raum zur Ansiedlung und um Licht.



Durch den Mangel an Hartsubstrat wird z.B. *Himantormia lugubris* langfristig auskonkurriert. Ebenso fehlt es für *Usnea aurantiaco-atra* an Hartsubstrat zur Ansiedlung. Bei den Moosen sind vor allem Moose der Gattung *Andreaea* durch den Mangel an Hartsubstrat betroffen, der sich bei einer geschlossenen Vegetationsdecke einstellt. OCHYRA (1998) gibt zwar für alle *Andreaea*-Arten an, dass sie auch gelegentlich auf dem Boden wachsen, doch nach eigenen Beobachtungen ist das nur dann der Fall, wenn in der direkten Umgebung auch Hartsubstrat besiedelt war.

Unmittelbar verknüpft mit den Raumansprüchen ist die Konkurrenz um das Licht. Strauchflechten konkurrieren nur untereinander, insbesondere intraspezifisch, wie die Lichtmessungen unter *Usnea aurantiaco-atra* und *Himantormia lugubris* belegen. Für jeden individuellen Thallus verringert sich die Einstrahlung erheblich zu seinem Nachteil, kollektiv kann die Abschattung aber lebensverlängernd wirken indem andere Arten, z.B. Moose, vom Standort ausgeschlossen werden und der Standort langfristig für die Flechtenart erhalten bleibt. Dies trifft in besonderem Maße für *Himantormia lugubris* zu, welches bei dünner Besiedlung seine Standorte an *Sanionia uncinata* verliert. Diese Befunde widersprechen BARKMAN (1958), der annahm, dass Moose einen Vorteil gegenüber Strauchflechten haben könnten, welche nur an einem Punkt festgeheftet sind und nur wenig Schatten werfen. Die jetzigen Untersuchungen haben deutlich gezeigt, dass Strauchflechten die untere Schicht bis über 99 % (Vgl. 3.1.2.1, 3.2.4) abschatten und dadurch die Lebensbedingungen für Moose nachteilig verändern.

Obwohl die Wasserverfügbarkeit am Standort einen entscheidenden Einfluß auf die Wuchskraft und das Überleben von poikilohydrischen Organismen hat, gibt es nur sehr schwache Indizien für eine Konkurrenz um Wasser. Unter *Usnea aurantiaco-atra* wurden zwar geringere Niederschläge festgestellt als in der Umgebung, aber für *Andreaea gainii*, welche in unmittelbarer Nachbarschaft zu einem Strauchflechtenbestand wuchs, konnte keine Veränderungen im Wasserhaushalt beobachtet werden. Allenfalls bei endohydrischen Moosarten wie *Polytrichum alpinum* und *Pohlia cruda* (NOAKES & LONGTON 1988), welche ihren Wasserhaushalt wesentlich aus dem Substrat bestreiten, ist eine solche Konkurrenz anzunehmen.

Der Einfluß von Nährstoffkonkurrenz dürfte ebenfalls gering sein, da die Nährstoffe hauptsächlich über die Niederschläge eingetragen werden und somit eng mit der Wasseraufnahme verbunden sind.

Die Struktur der Vegetation deutete darauf hin, dass Synergismen ebenfalls einen bestimmenden Einfluß hatten. Für das temperate Moos *Rhytidiadelphus triquetrus* ist eine positive Korrelation zwischen Stämmchendichte und Wachstum festgestellt worden (BATES 1987). Ein solcher Zusammenhang ist generell für alle Moose wechselfeuchter Bedingungen anzunehmen. Durch die Verlangsamung der Austrocknung ergeben sich durch das Zusammenschließen der Stämmchen (SMITH & GIMINGHAM 1972, SCHULZ 1993) wesentlich stabilere Wassergehalte, die zur Verlängerung der Aktivität und damit der produktiven Zeit führt (SCHLENSOG 2000). Aufgrund des häufigen Auftretens von Mischrasen aus verschiedenen Arten, ist anzunehmen, dass viele Moose von der Anwesenheit anderer Moosarten profitieren, da auch so eine hohe Dichte und damit größere Wasserspeicherung erreicht wird. Bei sechs koexistierenden *Polytrichaceae* wurden keine Unterschiede bei der Altersverteilung zwischen reinen und gemischten Beständen festgestellt (WATSON 1979). Die Wasserspeicherung der Thalli erfolgt in beträchtlichem Maße zwischen den Stämmchen. Ausnahmen bilden verschiedene endohydrische Arten wie z.B. *Polytrichum alpinum*, welches sich nicht an der Wasserspeicherung beteiligt, aber aufgrund der Wasseraufnahme durch Rhizidien Thalluswasser anderer Arten mitnutzen kann. Bei vielen Flechten, mit ihrem Bedürfnis nach Wechselfeuchte, dürfte dagegen zwischen Dichte und Wachstum eine negative Korrelation bestehen.

Die Bedeutung der Konkurrenz für die Koexistenz von vielen Moosarten auf engem Raum ist kontrovers diskutiert, da sowohl überwiegend positive Korrelation zwischen Arten (ØKLAND 1994) als auch überwiegend negative festgestellt wurden (WILSON *et al.* 1995). ØKLAND begründete seine Resultate aus borealen Fichtenwäldern mit der Möglichkeit der Koexistenz unterschiedlicher Lebensformen nebeneinander. An epiphytischen Moos-Flechtengesellschaften wurden positive und negative Assoziationen bei Artenpaaren gefunden (JOHN & DALE 1995), meistens wurde jedoch keine signifikante Korrelation im Auftreten zweier Arten gefunden.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden konkrete Hinweise auf Konkurrenz besonders in den untersten Transektteilen gefunden, wo die unterhalb einer lebenden Moosdecke gefundenen Großreste von Moosen und Flechten eine gerichtete Sukzession belegen. Die Beeinflussung der Moose durch Strauchflechten ist insbesondere durch Licht stark. Trotz weitaus höherer Produktivität der Moose kann das Einwirken von

Moosen auf Flechten nur über die Verhinderung der Etablierung von Verbreitungseinheiten der Flechten erfolgen. Dies entspricht den Annahmen von ØKLAND.

Zurückkehrend auf die Frage nach der Intensität der Konkurrenz an einem unproduktiven Standort, sei darauf hingewiesen, dass in den Kuppenbereichen trotz maximaler Vegetationsbedeckung und für antarktische Vegetation hoher stehender Biomasse die Standorte sowohl für Flechten als auch für Moose unproduktiv sind.

## 4.5 Charakterisierung der Ökologie ausgewählter Arten

Wie aus den vorangestellten Abschnitten sicher deutlich geworden ist, sind generelle Aussagen zu der Gewichtung verschiedener biotischer und abiotischer Faktoren für einen Standort schwierig zu treffen. Auf artspezifischer Ebene lassen sich eher die entscheidenden Prozesse nachvollziehen, die das Wachstum ermöglichen und sicherstellen.

### 4.5.1 Die Strauchflechte *Usnea aurantiaco-atra*

*Usnea aurantiaco-atra* ist in der maritimen Antarktis eine sehr commune Flechte (REDON 1985, SMITH & GIMINGHAM 1976). Deshalb wurde sie auch in einer Reihe von Arbeiten eingehender untersucht. HOOKER (1980b) studierte Wachstum und Produktivität. KAPPEN & REDON (1987) führten Untersuchungen zu Photosyntheseverhalten, Wassergehalten und Mikroklima von liegenden und festgehefteten Formen durch. Ähnliche Versuche wurden auch unter Winterbedingungen von HARRISON & ROTHERY (1988) durchgeführt. Von Livingston Island liegen inzwischen langjährige Untersuchungen zu Mikroklima und Aktivitätszeiträumen mit Modellierung von Photosynthese und Primärproduktion bei einem epilithischen Bestand vor (SCHROETER *et al.* 1997, 2000, SCHROETER 1997). BUSTAMANTE *et al.* (1989) beschäftigten sich mit möglichen allelopathischen Effekten auf Moose.

Trotz eingehender Untersuchungen ist die Frage, was gerade diese Flechte in der maritimen Antarktis so erfolgreich macht, bislang noch ungenügend geklärt.

Die Vegetationsuntersuchungen von Ardley Island zeigten, dass *U. aurantiaco-atra* über große Flächen apothezienlose, nicht festgeheftete Matten bildete (Vgl. 3.1.1.1, 3.1.2.1). Bei ihren auf der Fildes Halbinsel durchgeführten Untersuchungen hatten KAPPEN & REDON (1987) die Photosyntheseleistung von niederliegenden Formen mit

denen von aufrechten, festgehefteten Thalli verglichen und hatten eine auf 1/3 verminderte maximale Photosynthesekapazität festgestellt und damit eine ebenso verminderte Produktivität errechnet. Nach eigenen Beobachtungen fehlen den niederliegenden Thalli meist die feinen Fibrillen, die sich normalerweise auf den Hauptästen befinden. Fibrillen fehlen auch solchen Thalli, die mitsamt Substratteilen von ihrem Felsen heruntergebrochen sind und allmählich zerfallen. Die Fibrillen sind meist schwarz und ähneln jungen Thalli von *U. aurantiaco-atra*, während die Hauptäste gelb sind. Ihr Beitrag zur Photosyntheseleistung ist ungeklärt.

Es wurde von RUNDEL (1974) vermutet, dass Fibrillen und feinzerschlitze Thalli in windigen und nebligen Klimaten der Wasseraufnahme dienen, jedoch wurde dies nach Experimenten im Windkanal von LARSON *et al.* (1986) erheblich in Zweifel gezogen. Der Verlust an Fibrillen könnte dennoch eine deutliche Verschlechterung des Wasserhaushaltes bedeuten. Die Versuche mit den Regensammlern (Vgl. 3.2.5.1) zeigten eine 50%-tige Reduktion des Niederschlages durch eine Bedeckung mit *Usnea aurantiaco-atra*. Im Hinblick auf die Fläche differierte das eingefangene Niederschlagswasser von der niederliegenden zu der festgehefteten Form um 337% (Vgl. 3.2.5.4.). Eine verringerte Produktivität ließe sich also zum Teil auf eine verschlechterte Wasserbilanz für niederliegende Thalli zurückführen. SANCHO und KAPPEN (1989) hielten den Einfluß der wasserspeichernden Eigenschaften von Umbilicarien auf die CO<sub>2</sub>-Gesamtbilanz gering, da in der Regel die Aktivitätszeit nur um einige Minuten und maximal zwei Stunden verlängert wurde. Der Vergleich von freistehender, epilithischer *Usnea aurantiaco-atra* zu einem terrestrischen, niederliegenden Thallus derselben Art zeigte trotz der unterschiedlichen Wasseraufnahme keine Veränderungen in der Aktivitätszeit.

SCHROETER *et al.* (1997) zeigten an einem hängend angewachsenen Thallus von *U. aurantiaco-atra* anhand langjähriger Mikroklima-, in vivo Fluoreszenzmessungen und CO<sub>2</sub>-Produktivitätsmodellen, dass die produktivsten Zeiträume nicht der Sommer, sondern Herbst und Frühjahr waren. Für terrestrische Bestände kann dies nach den jetzigen Untersuchungen auch angenommen werden. Besonders im Frühjahr 1994 wurde beobachtet, dass über längere Zeiträume vor der Schneeschmelze terrestrisch wachsende Individuen immer wieder einen Hohlraum freischmolzen, der bald wieder von Driftschnee verfüllt wurde.

Der Vergleich der mikroklimatischen Bedingungen von lebenden, epilithischen Thalli mit daneben vorkommenden toten Thalli (Vgl. 3.2.5.) ergab sowohl ein verändertes

Licht- als auch Temperaturregime. Die Bedingungen waren jedoch weit weniger verändert als durch Selbstabschattung in dichten Strauchflechtenbeständen (Vgl. 3.1.2.6, 3.2.5). Die entscheidenden Veränderungen, die zum Tod des Thallus führten, sind wahrscheinlich die mit dem Windschatten durch die Steine und Flechten veränderten Feuchteverhältnisse.

Die Selbstabschattung dürfte in den dichten Strauchflechtenbeständen ein sehr starkes Produktionshemmnis sein, da z.B. in den untersten Thallusteilen selbst bei voller Sonneneinstrahlung für den Thallus die Lichtkompensationspunkte kaum erreicht werden (vgl. KAPPEN 1993a, SCHROETER *et al.* 1997) und damit diese Thallusteile mit Sicherheit eine negative Kohlenstoffbilanz aufweisen. Wenn für die Lichtabschwächung im Flechtenbestand annähernd das Lambert-Beersche Extinktionsgesetz gilt, so ergibt sich bei einer (häufig auftretenden) Lichtabschwächung von 90 % durch den Flechtenbestand, dass für den gesamten Thallus durchschnittlich nur ca. 42 % des Umgebungslichtes zur Verfügung stehen. Die gravimetrischen Wassergehaltsbestimmung gaben keinen Hinweis darauf, dass die kompakten Matten länger aktiv waren als freistehende Thalli. Von einer Kompensation des geringeren Lichts durch verlängerte Aktivitätszeiträume kann also nicht ausgegangen werden.

Die Untersuchungen ergaben weiterhin, dass *Usnea aurantiaco-atra* sich auch in Habitaten ansiedeln kann, in denen das Erreichen der Fruchtreife sehr ungewiß ist (Vgl. 3.1.3.2). Die Rekrutierung ist bei vorhandener freier Gesteinsoberfläche kein Problem. Bei dichter Vegetation, wie sie auf Ardley Island und Jubany vorhanden war, wurden jedoch nie junge Thalli als Unterwuchs oder auch epibry beobachtet.

Anhand der Größenverteilung kann man für *U. aurantiaco-atra* annehmen, dass sie auch nach dem Bilden von Apothezien kontinuierlich weiterwächst (Vgl. 3.1.3.4) – und nicht danach abstirbt, wie dies z.B. bei *Cladonia floerkeana* (OTT & JAHNS 1997) nachgewiesen wurde (oberhalb von 40 mm Höhe sind im F2 nur fruchtende Individuen gefunden worden). Bei keinem der drei Transekte ließen sich jedoch Anzeichen für ein protektives Stadium (ODUM 1969), wo sich Zuwachs und Abbruch die Waage halten, finden. Vielmehr scheint in den drei untersuchten Systemen das Ausfallen (Tod oder Verdriftung) kontinuierlich zu erfolgen, da mit zunehmender Größe jeweils weniger Individuen vorhanden waren.

#### 4.5.2 Die Strauchflechte *Himantormia lugubris*

Unterhalb der Kuppenzone mit *Usnea aurantiaco-atra* schloß sich relativ scharf abgegrenzt ein Bereich an, in der *Himantormia lugubris* aspektbildend wurde. Meist dominierte im Unterwuchs *Sanionia uncinata*, eine teppichbildende Moosart. In anderen Gebietsteilen oder auch an senkrechten Felswänden wachsen *Usnea aurantiaco-atra* und *Himantormia lugubris* zusammen, während sie sich in den untersuchten Transekten recht klar voneinander scheiden. Nach Untersuchungen von KAPPEN & REDON (1987) gibt es drastische Unterschiede in der Temperatur- und Lichtabhängigkeit der Photosynthese zwischen beiden Arten. Demnach ist *Himantormia lugubris* wesentlich unproduktiver als *U. aurantiaco-atra*, da die Photosyntheseraten durchweg niedriger sind, als bei *U. aurantiaco-atra*. Auch von Moosen ist bekannt, dass schwächer pigmentierte Arten meist vergleichsweise höhere Photosyntheseraten aufweisen, ohne dass gleichzeitig die Dunkelatemungswerte gesteigert sind (z.B. SCHULZ 1993). In der *Himantormia lugubris*-„Zone“ fiel *Usnea aurantiaco-atra* aus autökologischen Gründen aus, so dass *H. lugubris* keine Konkurrenz von Strauchflechten hatte. Vergleicht man allerdings die temperaturabhängigen Dunkelatemungsraten beider Flechten miteinander (KAPPEN & REDON 1987) so stellt man fest, dass bei *H. lugubris* die Dunkelatemung sogar stärker ist, und, aus den dargestellten Kurven geschlossen, auch die Lichtkompensationspunkte höher liegen, als bei *U. aurantiaco-atra*. Diese Nachteile für *Himantormia lugubris* ließen erwarten, dass diese Art zur Senke hin sogar eher ausfallen würde als *U. aurantiaco-atra*, da bedingt durch länger anhaltende kurz- und langfristige Schneebedeckung mit weniger Licht zu den tiefer gelegenen Regionen zu rechnen ist. Es liegt der Schluß nahe, dass die Thallusfärbung und/oder die Thallusmorphologie diese Nachteile am Standort mehr als kompensieren müssen.

Für eine terrestrische Population von *Himantormia lugubris* errechnete WINKLER (2000), unter Annahme ganzjährig optimaler Wassergehalte, eine „potentielle Primärproduktion“ und folgerte damit ein „gute Anpassung von *Himantormia lugubris* an ihren Standort an die Hangmitte“. Gegen eine „gute“ Anpassung spricht jedoch die auffällige Sterilität an solchem Standort und das allmähliche Erlöschen der Population, wie jetzt die Großrestanalysen zeigten.

Schwache Wuchskraft und mangelndes Substrat zur Ansiedlung erklärt am ehesten das weitgehende Fehlen in Kuppenbereichen.

Während der Sommermonate war die Wasserakquisition zwar etwas besser als bei den terrestrischen Populationen von *U. aurantiaco-atra*, jedoch trat damit keine signifikante Verlängerung der Aktivitätszeiträume ein. Gerade die durch Poikilohydrie bestimmte Selektion der Lebensbedingungen könnte jedoch eine Erklärung dafür geben, warum *H. lugubris* an diesen Grenzstandorten überhaupt existieren kann, wenn *U. aurantiaco-atra* schon ausfällt, obwohl letztere Art photosynthetisch leistungsfähiger und in der Atmung genügsamer ist (z.B. SCHROETER 1997, WINKLER 2000). Modellhaft haben SCHULZ & SCHROETER (2000) den Einfluß von Aktivitätsperioden auf die Kohlenstoffbilanz bei zwei Blattflechten anhand konkreter Daten durchgerechnet und zeigten damit, dass Unterschiede in der Aktivitätszeit die Kohlenstoffbilanzen stärker modifizieren können, als ein standörtlich unterschiedliches Mikroklima.

*Himantormia lugubris* steht in der terrestrischen Vegetation häufig in direktem Kontakt mit dichten Moosteppichen von *Sanionia uncinata*, die weitaus produktiver sind als *H. lugubris*. REDON (1985) beschrieb diese Flechte auch als muscicol, die Großrestbefunde deuten aber eher auf reliktsche epilithische Vorkommen. Verdeutlicht man sich die bereits besprochenen Alterunterschiede zwischen der aktiven Mooschicht und dem Strauchflechtenbestand – bei *H. lugubris* ist aufgrund der geschätzten geringen Produktivität (KAPPEN & REDON 1987) und einer ähnlichen Thallusgröße wie *U. aurantiaco-atra* ein höheres Alter, als die von HOOKER (1980b) für *U. aurantiaco-atra* geschätzten 200 Jahre, zu erwarten. HOOKER (1980b) brachte die Existenz schnell wachsender Moose mit sehr langsam wachsenden Flechten in Einklang, indem er davon ausging, dass die Strauchflechten „flottieren“. Die Flechten „schwimmen“ damit auf der aufwachsenden Mooschicht. Allerdings, und darauf deuten die Funde von Großresten ohne korrespondierende lebende Flechte hin, geschieht dies nur unvollständig, was in langen Zeiträumen zu einem Verlust des Standortes führt.

Aufgrund der starken Beschattungswirkung eines dichten Bestandes kann auch für die Strauchflechtenart *H. lugubris* davon ausgegangen werden, dass ein dichter Bestand quasi selbsterhaltend wirkt, da die Produktivität und das Aufwachsen der unterliegenden Mooschicht behindert wird. Obwohl jeder individuelle Thallus in einer Gruppe aufgrund Selbstabschattung und Abschirmung von Feuchtigkeitseintrag noch langsamer wachsen wird als ein vereinzelter Thallus, überwiegt wie bei *Usnea aurantiaco-atra* der Vorteil des gemeinsamen Auftretens. Es muß allerdings betont

werden, dass weder vereinzelte terrestrische Thalli von *Himantormia lugubris* noch Thallusgruppen zum Fruchten kommen.

### 4.5.3 Polsterförmige Moose *Andreaea gainii* und *A. regularis*

Alle Moose der Gattung *Andreaea* bewohnen silikatisches Gestein (CRUM & ANDERSON 1981). OCHYRA (1998) beschrieb die Verbreitung dieser Gattung mit „hauptsächlich kalt-temperat und Polarregionen beider Hemisphären“ und wies auf die große Bedeutung dieser Gattung für die Antarktische Vegetation hin. Weiter schreibt er von beiden Arten, dass sie in exponierten Habitaten vorkommen. Die Frequenzanalysen auf Ardley (Vgl. 3.1.1.2) und Feldbeobachtungen deuten bei *A. regularis* auf kaum exponierte Standorte hin, da die Art nur in den gut drainierten, tieferliegenden Transektabschnitten, aber nicht in den Kuppenregionen vorkam.

Die beiden *Andreaea*-Spezies wachsen in der Regel polsterförmig, bei dichtem Auftreten schließen die Polster aber zusammen, so dass sie wie ein geschlossener Rasen erscheinen. GIMINGHAM & SMITH (1971) schreiben der Wuchsform und der extrem schnellen Wasseraufnahme in Laborexperimenten den Erfolg auf exponierten Standorten zu. Die jetzt durchgeführten langfristigen Messungen des *in situ* Wassergehaltes erbrachten im Vergleich zu den anderen Moosarten jedoch keine messbaren Vorteile durch die schnelle Aufnahme. Die Zeiträume, in denen im Feld eine Wasseraufnahme erfolgte, verlief in der Regel über mehrere Stunden und damit weit langsamer als für das vollständige Einquellen notwendig gewesen wäre.

Die Mikroklimamessungen von DAVEY & ROTHERY (1996) in den Polstern der ebenfalls als „xerisch“ eingestuften *A. depressinervis* erbrachten im Jahreslauf Höchsttemperaturen von ca. 25 °C. Dies entspricht den in der vorliegenden Studie gemessenen Höchsttemperaturen von *A. gainii* (Vgl. 3.2.3, Abb. 3.21.). SCHLENSOG (2000) hat für diese Art jedoch an wesentlich weiter südlich gelegenen Standorten auf Leonie Island im trockenen Zustand Temperaturen von über 40 °C gemessen. Die Temperaturbedingungen können für *Andreaea*-Arten sehr wohl extrem sein, aber es überwiegen Befunde von einem mäßigen Temperaturregime.

Die von DAVEY & ROTHERY (1996) ermittelte kurze und geringe Schneebedeckung stimmt mit eigenen Feldbeobachtungen von Standorten mit *Andreaea gainii* gut überein, *A. regularis* aber wurde auch in zusammenfließenden Polstern in gut drainierten Schneetälchen gefunden, die erst spät schneefrei wurden.



Das Spektrum von besiedelten Habitaten sowie die unterschiedlichen mikro-klimatischen Bedingungen von *Andreaea*-Standorte deutet auf eine breitere ökologische Amplitude der *Andreaea*-Arten hin, als bisher angenommen.

Bei den Vegetationsuntersuchungen wurden die *Andreaea*-Arten nur sehr spärlich im Kuppenbereich und den oberen Hangflanken gefunden. Besonders *Andreaea regularis* trat erst in den tiefer gelegenen Transektabschnitten unterhalb von hydrisch anspruchsvolleren Moosarten auf. Da sie in weniger dichter Vegetation häufig auch im Kuppenbereich zu finden ist (SMITH & GIMINGHAM 1976), liegt eine Verdrängung nahe. Alle *Andreaea*-Arten sind vermutlich relativ unproduktiv, da ihre Photosynthesekapazität im Vergleich zu anderen Moosen gering ist (SCHULZ 1993, DAVEY 1996). Ebenso wie eine schwache Wuchsleistung könnte auch das Fehlen von offenem Hartsubstrat bei einer geschlossenen Vegetationsdecke diesen Ausfall bewirken.

#### 4.5.4 Rasenbildende Moose *Chorisodontium aciphyllum* und *Polytrichum alpinum*

Die Dicranaceae *Chorisodontium aciphyllum* ist vor allem aus der maritimen Antarktis bekannt. In wüchsigen Beständen ist das Moos aspektbildend und kann unter günstigen Umständen Torfe bilden, wie z.B. auf Signy Island, wo von Torfmächtigkeiten bis 3 Meter berichtet wurde (BAKER 1972). Auf den Süd-Shetland-Inseln tritt diese Art gelegentlich auf und bildet nur geringmächtige Torfe (LINDSAY 1971, OCHYRA 1998). Die untersuchten Bestände auf Ardley Island und der Potter Halbinsel sind zwar für die Süd-Shetland-Inseln gut entwickelt gewesen, aber man muß vermuten, dass die Bedingungen auf der Inselgruppe insgesamt nur suboptimal sind.

DAVEY & ROTHERY (1996) haben Mikroklima und CO<sub>2</sub>-Gaswechsel von *C. aciphyllum* über zwei Jahre untersucht, spezifizieren den Ort der Untersuchungen nur mit „maritime Antarktis“, womit wahrscheinlich Signy Island mit seinem, für diese Art günstigeren, Klima gemeint war. Nach diesen Daten ist *C. aciphyllum* nur vier Monate vom Mai bis August von einer ca. 10 cm starken Schneedecke bedeckt gewesen. Auf der Potter Halbinsel war der gemessene Bestand in der Blockhalde (Abb. 3.22) zwar mindestens Ende Oktober schneefrei, auf der benachbarten Plateaufläche (Abb. 3.23) verschwand die Schneedecke erst Anfang November. Ob die unterschiedlichen Aptertermine auf den unterschiedlichen Standorten, auf den (wahrscheinlich) höheren Breitengrad oder auf Variationen des jährlichen

Schneeaufkommens (siehe WINKLER 2000) zurückzuführen sind, kann wohl nicht hinreichend entschieden werden. Die von DAVEY und ROTHERY festgestellte schwache Schneebedeckung der Standorte von *C. aciphyllum* entspricht auch den eigenen Befunden. In Lagen mit längerer Schneebedeckung, in den unteren Transektteilen, wurde *C. aciphyllum* sowohl von den teppichbildenden Moosen überwachsen, als auch vom kleinen Lebermoos *Cephaloziella varians* (Vgl. 3.1.2.3). Überfeuchte kann als Grund für die mangelnde Durchsetzungskraft von *C. aciphyllum* ausgeschlossen werden, da die aufgenommenen Mikroklimaläufe von vitalen Beständen langanhaltende Dauerfeuchte dokumentieren (Vgl. 3.2.2.). Die senkrechte Thallusorientierung von *C. aciphyllum* wirkt sich im Vergleich zum horizontalen Wachstumsmodus von *Sanionia uncinata*, *Calliergon sarmentosum* und *Cephaloziella varians* in einer Konkurrenzsituation nachteilig für *C. aciphyllum* aus, denn die horizontal in die Rasen einwachsenden Thalli werden beim Aufwachsen mit emporgetragen. So ist das schwache Auftreten zum Hangfuß hin eine Folge mangelnder Konkurrenzkraft, die im Vergleich zu den konkurrierenden Moosarten nicht in geringerer Produktivität begründet liegt (vgl. BAKER 1972, COLLINS 1976).

Während der Herbst- und Frühjahrsmonate profitiert *C. aciphyllum* wahrscheinlich aus dem Wechsel von Driftschnee und Sonnentagen. Durch die relativ großen, senkrecht orientierten Blättchen, ist die Oberflächenrauigkeit der Rasen vergleichsweise groß. Jedoch führt eine zu starke Exposition zu negativen Effekten für Moose und begünstigt damit die Ansiedlung von Flechten. GIMINGHAM & SMITH (1971) vermuteten, dass *C. aciphyllum* aufgrund seines dichten Rhizoidenfilzes gespeichertes Wasser aus dem dichten Rasen zu den Blättchen nachleiten könnte.

LONGTON (1970) zeigte, dass an den Standorten von *C. aciphyllum* Gefrier-Auftauvorgänge ca. doppelt so häufig auftreten wie in dauerfeuchten, teppichförmigen Moosen. Die jetzt durchgeführten Untersuchungen bestätigen diesen Befund (Abb. 3.21), aber Moose exponierterer Standorte wie *Andreaea gainii* (Abb. 3.21, 3.22, 3.23) sind solchen Temperaturschwankungen noch wesentlich schärfer ausgesetzt. LONGTON hielt diese Vorgänge für „potentiell wichtig für das Überleben in Polarregionen“, was KENNEDY (1993a) später an der teilweise mit *C. aciphyllum* vergesellschafteten Art, *Polytrichum strictum*, experimentell nachweisen konnte (Nachweis von Einschränkungen der Photosynthesekapazität nach Gefrier-Auftau-Zyklen). Von temperaten Moosen ist Gefrierstreß schon länger bekannt (DILKS & PROCTOR 1979).

Die spezifischen ökologischen Ansprüche von *Chorisodontium aciphyllum*, welches weder lange Schneebedeckung noch zu harte Austrocknungsverhältnisse ertragen kann, stimmen mit dem generellen Verbreitungsbild dieser Art überein, welches OCHYRA (1998) als „Pan-South-Temperate“ beschrieb. Nur im nördlichen Teil der maritimen Antarktis kann diese Art vegetationsprägend werden (GIMINGHAM & SMITH 1970).

Das zweite rasenbildende Moos, welches in den Transekten abundant war, ist *Polytrichum alpinum*. Trotz der rasigen Wuchsform unterscheidet es sich in vielfältiger Hinsicht von *Chorisodontium aciphyllum*, da die *Polytrichaceae* unter den Moosen eine gewisse Sonderstellung einnehmen. Sie verfügen über gut entwickelte Wasserleitgewebe (HÉBANT 1977) und können damit aus dem Substrat Wasser nachleiten. Die Wassernachleitung erfolgt, im Gegensatz zu den meisten Moossippen, hauptsächlich intern (NOAKES & LONGTON 1988). Außerdem verfügen sie über einen Austrocknungsschutz in Form von Wachsschichten.

Der Vorteil einer internen Wassernachleitung auf den Untersuchungsstandorten war wahrscheinlich nur gering, weil die untersuchten Gesellschaften nur auf gut drainierten Böden vorkamen. Unter den dichten Flechtenbeständen von *Usnea aurantiaco-atra* waren die Bestände von *Polytrichum alpinum* häufig abgestorben. Einerseits ist dies auf die schlechten Lichtverhältnisse zurückzuführen, aber die geringe Wasserverfügbarkeit im Substrat stellte sicherlich zudem eine erhebliche Erschwernis dar. Im abgeschatteten Bereich waren die Stämmchen in der Regel nur ein bis zwei Jahre aktiv bevor sie abstarben. Interessanterweise war *P. alpinum* trotzdem in der Lage, immer wieder neue Stämmchen aus dem unterirdischen Stämmchensystem zu bilden und so seine Population zu erhalten. Diese Art ist aufgrund autökologischer Beschränkung und aufgrund von Konkurrenz gerade noch überlebensfähig.

#### 4.5.5 Die teppichbildenden Moose *Sanionia uncinata* und *Calliergon sarmentosum*

Die beiden Moose *Sanionia uncinata* und *Calliergon sarmentosum* sind auch aus der arktisch-alpinen Region der Nordhemisphäre (z.B. HEDENÄS 1993) bekannt, wo sie auch vegetationsprägend (WEBBER 1978) sein können. Besonders an *Calliergon sarmentosum* wurden Untersuchungen zum Wasserhaushalt (OECHEL &

SVEINBJÖRNSSON 1978, GIMINGHAM & SMITH 1971) und CO<sub>2</sub>- Gaswechsel (OECHEL 1976, OECHEL & COLLINS 1976) durchgeführt.

Für *C. sarmentosum* schwankte der Wassergehalt im Laufe der Messperiode mit dem Auftreten von Regenperioden von vollkommen trocken bis überfeucht. Eine kontinuierliche Abnahme des Wassergehaltes wie bei OECHEL & SVEINBJÖRNSSON (1978) ließ sich nicht beobachten. Es ist zu vermuten, dass die gemessenen Schwankungen die aktuelle Kapazität des Photosyntheseapparates stark beeinflussen, da auch für die Photosynthese suboptimale Wassergehalte (<400 % WG) erreicht wurden. Erschwerend kommt hinzu, dass an Sonnentagen die Oberflächen beider Arten abtrocknen und eine Wassernachleitung von tieferen Thallusteilen nicht schnell genug vonstatten geht. NOAKES & LONGTON (1988) schlossen nach ihren Experimenten zur Wassernachleitung jedoch, dass unter normalen Feldbedingungen die Wassernachleitung kein Problem sein sollte. Es ist fraglich, ob hohe Wassergehalte immer auch für die photosynthetisch aktiven Gewebe gelten. Am Standort 9, an dem *Sanionia uncinata* oberflächlich, großflächig verpilzt auftrat, wurde eine vergleichsweise hohe Evaporation festgestellt. An den Thallusrissen waren die Matten hingegen vital.

Eine außerordentliche Belastung müssen für diese Arten die Bedingungen während der Schneeschmelze sein. Das im Schnee versickernde Schmelzwasser führte zu einer Aktivierung bei 0 °C, ohne dass Licht für die Photosynthese vorhanden wäre. Im Oktober-November 1994 herrschten über vier Wochen Bedingungen, die für die Moose kontinuierlichen Kohlenstoffverlust bedeuteten. Dies mag auch der Grund dafür sein, warum bei *C. sarmentosum* nach dem Winter nur wenige grüne Gewebe vorhanden waren und die niedrigsten Nettphotosyntheseraten (OECHEL 1976) an einer arktischen Population gemessen wurden. Für hauptsächlich in tiefergelegenen Geländeteilen vorkommende Moose stellt die Zeit der Schneeschmelze also Streß dar, während dies für die Strauchflechten auf den Kuppen in der Regel eine besonders produktive Zeit ist.

#### 4.5.6 Epibrye Flechten *Ochrolechia frigida* und *Psoroma hypnorum*

Durch die innige Verbindung zum Substrat ist der experimentelle Zugang zu den Eigenschaften von Krustenflechten sehr schwierig. Dementsprechend fehlen auch Veröffentlichungen, die sich eingehender mit der Ökologie oder Physiologie von epibryen Flechten beschäftigen.

In der untersuchten Vegetation waren die beiden Krustenflechten *Ochrolechia frigida* und *Psoroma hypnorum* fast im gesamten Transektverlauf als recht stetige Begleitarten zu finden. Beide Flechten kamen auf den unterschiedlichsten Moosarten, aber auch auf Rohhumus vor. Eine enge Bindung an bestimmte Moose war nicht zu beobachten.

Ihre Rolle bei einer Sukzession ist schwer abzuschätzen. Denkbar wäre, dass die Flechten Moosbezirke aktiv zum Absterben bringen und so an der Artenauswahl auf den Flächen einwirken. Alternativ, und das scheint nach den eigenen Beobachtungen wahrscheinlicher, werden nur geschwächte bzw. bereits abgestorbene Bereiche besiedelt. Für die zweite Hypothese spricht, dass Moose über starke fungizide Eigenschaften verfügen (MCCLEARY *et al.* 1960, HUNECK 1983).

Nach den eigenen Beobachtungen befanden sich die Flechten meist im exponierteren Zentrum eines Moosbestandes. Besonders bei *Chorisodontium aciphyllum* fanden sich verbräunte und sogar abgestorbene Bezirke, wenn sich der Rasen weit über den Vegetationshorizont aufwölbte. Bei *Polytrichum alpinum* waren häufig auch tote Stämmchen ohne eine Flechtenbesiedlung zu finden. Das häufige Vorkommen toter Moosbereiche beschreibt auch SMITH (1990) aus der kontinentalen Antarktis. Das Auftreten solcher Bezirke dürfte die Ansiedlung von epibryen Flechten erleichtern, wenn nicht gar ermöglichen.

In den Transekten zeigte *Psoroma hypnorum* eine Präferenz für die tiefer gelegenen, feuchteren Transektabschnitte. Da *P. hypnorum* über Cephalodien mit *Nostoc* (WIRTH 1995) verfügt und *O. frigida* nur über coccale Grünalgen als Photobionten verfügt, ist anzunehmen, dass *P. hypnorum* von den feuchteren Bedingungen in besonderem Maße profitieren kann (Cyanobakterien benötigen flüssiges Wasser zur Aktivierung (LANGE & KILIAN 1985, LANGE *et al.* 1986). Mit der Präferenz zu feuchteren Standorten ist *P. hypnorum* Konkurrenz durch Moose ausgesetzt. Mehrfach wurde *Sanionia uncinata* beobachtet, die randlich über *P. hypnorum* wuchs. Als Großreste konnten die Schuppen von *P. hypnorum* nicht gefunden werden, was möglicherweise darauf zurückzuführen ist, dass Reste hauptsächlich unter gut wüchsigen Moosbeständen gefunden wurden, einem Standort also, den *Psoroma hypnorum* eher nicht besiedelte.

#### 4.5.7 Lebermoose

Die Lebermoose spielen in der antarktischen Vegetation eine sehr untergeordnete Rolle. Zwar sind sie regelmäßig vorhanden, gelangen aber selten zu Dominanz oder sind gar aspektbestimmend. Häufig sind nur die beiden Arten *Cephaloziella varians* und *Lophozia excisa* (OCHYRA & VANA 1989), während die auch im Rahmen dieser Arbeit behandelten *Barbilophozia hatcheri* und *Herzogobryum teres* nur lokal stärker auftreten. Da Lebermoose experimentell schwieriger zu handhaben sind als Laubmoose, sind experimentelle Arbeiten zur Ökologie rar, aus polaren Breiten wurde bisher z.B. nur das Photosyntheseverhalten vom Schneetälchenmoos *Anthelia juratzkana* gemessen (LÖSCH *et al.* 1983) und rezent an *Barbilophozia hatcheri* und *Cephaloziella varians* Chl-a Fluoreszenzuntersuchungen durchgeführt (SCHLENSOG 2000).

*Cephaloziella varians* ist ein ausgesprochen filigranes Lebermoos mit einer breiten ökologischen Amplitude. Es kam in den Transekten von den Kuppenregionen bis an die Hangfüße vor. Wie die Strukturanalysen zeigten, konnte es trotz seiner Kleinheit und feinen Struktur in den tiefergelegenen Transektbereichen *Chorisodontium aciphyllum* überwachsen, so dass *C. aciphyllum* flächig abgetötet wurde. Wie auch bei den beiden teppichbildenden Moosen flottierte *C. varians* auf *C. aciphyllum*. Für *Cephaloziella varians* sind wahrscheinlich die wasserspeichernden Eigenschaften des absterbenden bzw. abgestorbenen Rasens nützlich, da isolierte Thalli sehr schnell austrocknen. Aufgrund des ungeschützten Vorkommens an solchen feuchten Standorten ist *C. varians* an hohe Lichtintensitäten im aktiven Zustand gewöhnt. SCHLENSOG (2000) konnte an einem feuchten Standort keine Anzeichen von Photoinhibition feststellen. Der schwärzliche Farbton, ebenso das Verbreitungsbild dieser Art, die als einzige Lebermoosart bisher von Antarktischen Kontinent bekannt ist (als *C. exiliflora*) (OCHYRA & VANA 1989), sprechen für einen breiten Toleranzbereich bezüglich des Lichtklimas.

Aufgrund des häufigen Vorkommens unter dichten Flechtenbeständen und der senkrechten Orientierung der Stämmchen innerhalb der Rasen von *Chorisodontium aciphyllum* ist bei *Barbilophozia hatcheri*, ganz im Gegensatz zu *C. varians*, von einer Vermeidung von Starklichtsituationen auszugehen. *C. aciphyllum* kommt häufig auch ohne *B. hatcheri* vor, während in offenen Mikrohabitaten die Bindung vom Lebermoos zum Laubmoos recht streng war. SCHLENSOG (2000) hat diese Art

ebenfalls untersucht und konnte eine Bindung an beschattete Standorte nicht feststellen. Vielmehr wuchsen die Thalli in reinen Matten sonnenexponiert und waren sehr wohl in der Lage mit Starklichtbedingungen umzugehen. Der Widerspruch dieser Befunde lässt sich möglicherweise damit erklären, dass ausschlaggebender Faktor die Wasserverhältnisse am Standort sind und nicht das Lichtklima.

## 5 Zusammenfassung

Auf King George Island (61°50' bis 62°15' S, 57°30' bis 59°01' W) und Ardley Island (61°12' S, 58°56' W), maritime Antarktis, wurde an drei Orten mit besonders reicher Moos- und Flechtenvegetation die Struktur und die Interaktionen der Moos- und Flechtenvegetation untersucht.

Abiotische und biotische Wechselwirkungen und ihr Einfluß auf die Vegetation wurden hier erstmals für die Kryptogamenvegetation der maritimen Antarktis in solch engem Zusammenhang erforscht.

Die Standorte umfaßten sowohl flechten- und artenreiche als auch artenarme, moosdominierte Vegetationstypen. Besonderes Charakteristikum war die auch in Übergangsbereichen noch weitgehend geschlossene Vegetationsdecke und der häufig zweischichtige Aufbau der Vegetation.

Umfangreiche Mikroklimauntersuchungen wurden im antarktischen Sommer und im bisher wenig untersuchten antarktischen Frühjahr an Flechten- und Moosen verschiedener Standorte durchgeführt. Besonders im Frühjahr kam es unter dem Einfluß von Schmelzwasser zu einer mikroklimatischen Differenzierung der Standorte. Die Untersuchungen ergaben außerdem, dass sowohl bei Flechten als auch bei Moosen die Abweichungen im Mikroklima zwischen zwei Standorten teilweise erheblich größer waren, als zwischen zwei verschiedenen Arten an demselben Standort.

Das Mikroklima wurde auch unterhalb von verschiedenen Strauchflechtenarten gemessen. Für die punktgenaue Messung der Lichtbedingungen wurde ein Sensor selbst entwickelt und damit die Lichtverteilungsmuster unterhalb der Strauchflechtenschicht bestimmt. Der stark reduzierte Lichteinfall (minimal < 0,3 % ) war bei verschiedenen Witterungssituationen und Tageszeiten mit einem messstandort-spezifischen, konstanten Faktor vom Umgebungslicht abhängig. Die Temperaturen unterhalb der Strauchflechten lagen im Durchschnitt 0,4 K niedriger und schwankten wesentlich weniger als die Thallustemperaturen der Flechte selber. Die Luftfeuchte unterhalb von Strauchflechten war deutlich höher als die Luftfeuchte der Umgebungsluft.

Über eine Sommerperiode wurden mit empfindlichen Sammlern die Niederschläge an neun unterschiedlich exponierten und mit unterschiedlicher Vegetation



ausgestatteten Standorten gesammelt. Zwischen den Standorten ergaben sich erhebliche Unterschiede, die sich jedoch nicht direkt mit der Geländemorphologie in Verbindung bringen ließen. Bei der Verwendung von senkrechten Windhindernissen als „Strauchflechtensimulatoren“ wurden um den Faktor 1,5 bis 2,5 erhöhte Niederschlagsmengen in den Sammlern gemessen. Unterhalb einer Strauchflechtenschicht war der Niederschlagseintrag jedoch halbiert.

Die Evaporationsverhältnisse wurden im Kuppenbereich eines Hügels, an dessen Flanken und dem Hangfuß zusammen mit der Windgeschwindigkeit gemessen. Die Evaporation korrelierte gut mit der gemessenen Windgeschwindigkeit. Die höchste Windgeschwindigkeit und Evaporation wurde jeweils auf den Flanken gemessen, erst dann folgte die Kuppe, während an der Basis die geringsten Werte ermittelt wurden. Schließlich wurde an den verschiedenen Standorten des Hügels für verschiedene Flechten- und Moosarten jeweils die gespeicherte Wassermenge über einen 6-wöchigen Zeitraum in witterungsabhängigen Intervallen bestimmt. Die Messungen ergaben auch dann eine Befeuchtung der Thalli wenn kein Niederschlag messbar war. Die verschiedenen Moos- und Flechtenarten an einem Standort reagierten trotz unterschiedlicher Wuchsformen weitgehend zeitgleich. Die absoluten Aufnahmeleistungen von Wasser sind jedoch wuchsformabhängig.

Die Artenzusammensetzung der Vegetation wurde anhand von hochauflösenden Frequenzanalysen kontinuierlich in 6 Transekten entlang eines durch die Geländemorphologie gegebenen angenommenen Schnee- und Feuchtigkeitsgradienten charakterisiert. Bei einer zwischen einzelnen Zonen augenscheinlich verschiedenen Vegetationszusammensetzung ließ sich mittels Clusteranalyse nur der von der Strauchflechte *Usnea aurantiaco-atra* dominierte Kuppenbereich scharf abgrenzen. Zwischen den anderen Vegetationstypen verliefen die Übergänge zwischen den einzelnen, im Feld wahrgenommenen Zonen, relativ kontinuierlich, so dass sie keine scharfen Cluster bildeten. An den verschiedenen Flanken einer Kuppe mit flacher Hangneigung ließen sich in der Vegetationsausprägung keine signifikanten Unterschiede in Abhängigkeit von der Exposition feststellen.

Anhand einer Sektionierung in Feld wurde die räumliche Struktur der Vegetation erfaßt und daraus Assoziiierungen zwischen einzelnen Arten bestimmt. In den unteren, feuchteren Transektabschnitten ließ sich so die Verdrängung sowohl von

mesischen Moosen und als auch einer Strauchflechte durch hygri sche Moose nachweisen. Unterhalb einer Strauchflechtenschicht war die Artenzusammensetzung der Moos schicht ebenfalls deutlich verändert. Bei einigen dieser überdeckten Moose traten Vitalitätsstörungen auf, die sich durch abgestorbene Thallusbereiche dokumentierten.

Jeweils 100 punktgenaue Lichtmessungen unterhalb der Strauchflechtenschicht von 32 Plots belegten, dass auch bei einem geringen Lichteinfall von unter 1% des Umgebungslichtes noch lebende Moosbestände zu finden waren. An toten Thallusbezirken ließen sich keine niedrigeren Lichtwerte nachweisen als für lebende Bereiche. Somit ist Lichtmangel als alleiniger Grund des Absterbens auszuschließen. Verschiedene Strauchflechtenarten ergaben eine unterschiedliche Abschattungswirkung, die nicht mit der Färbung der Flechten in Zusammenhang stand.

Die in dichter Vegetation auf Kuppen häufige, aber oft sterile Strauchflechte *Usnea aurantiaco-atra* wurde in Reinbeständen auf ihren Apothezienerfolg hin untersucht. Dabei zeigte sich mit zunehmender Dichte zwar ein abnehmender Erfolg pro Individuum, der jedoch durch die größere Anzahl von Thalli pro Flächeneinheit kompensiert wurde. Die Ansiedlung und damit das Vorkommen junger Thalli erfolgte ubiquitär auf dem verfügbaren Hartsubstrat unabhängig von dessen Größe.

Nach den vorliegenden Untersuchungen sind biotische Interaktionen wie Konkurrenz und Synergismen wichtige Faktoren für die Strukturierung der Vegetation. Die Koexistenz mit Individuen der eigenen oder einer anderen Art kann sowohl positive als auch negative Aspekte haben, so z.B. das Freihalten von Konkurrenz aber gleichzeitig auch starke Abschattung. An vegetationsprägenden abiotischen Faktoren kommen nach Kryoturbation besonders Schneebedeckung und die Evaporationsverhältnisse in Betracht. Wie die Lichtmessungen unterhalb von Strauchflechten belegen, kann die Lichtreduktion durch langfristige Schneebedeckung nicht allein die Abwesenheit von einigen Moosarten im Senkenbereichen erklären. Der Ausfall von Flechtenarten zu den niedriger gelegenen Transektabschnitten hin ist nicht auf „snow-kill“ zurückzuführen, da keine Totfunde im Grenzbereich gemacht wurden. Für den Ausfall bzw. die Ausdünnung von Moosen zur Kuppe hin ist wahrscheinlich die erhöhte Evaporation ausschlaggebend.

Die Gewichtung der biotischen und abiotischen Faktoren für das Überleben am Standort ist spezifisch für Arten und Gruppen und wird eingehender diskutiert.

## 6 Literatur

- AHMADJIAN, V. (1970): Adaptations of Antarctic Terrestrial Plants. in M.W. Holdgate (Hrsg.) Antarctic Ecology, Vol. 2: 801-811.
- ALLISON, J.S. & SMITH, R.I.L. (1973): The vegetation of Elephant Island, South Shetland Islands. Brit. Antarct. Surv. Bull. **33/34**: 185-212.
- BAKER, J.H. (1972): The Rate of Production and Decomposition of *Chorisodontium aciphyllum* (Hook. f. & Wils.) Broth. Br. Antarct. Surv. Bull. **27**: 123-129.
- BARKMAN, J.J. (1958): Phytosociology and ecology of cryptogamic epiphytes. Van Garcum & Comp. Assen. 628 p.
- BARSCHE, D.; BLÜMEL, W.-D.; FLÜGEL, W.-A.; MÄUSBACHER, R.; STÄBLEIN, G. & ZICK, W. (1985): Untersuchungen zum Periglazial auf der König-Georg-Insel Südshetlandinseln/Antarktika. Berichte zur Polarforschung **24**. 62 pp.
- BARTON, C.M. (1965): The geology of the South Shetland Islands: III. The stratigraphy of King George Island. British Antarctic Survey Scientific Reports, Nr. **44**: 33 pp.
- BATES, J.W. (1975): A quantitative investigation of the saxicolous bryophyte and lichen vegetation of Cape Clear Island, County Cork. J. Ecol. **63**: 143-159.
- BATES, J.W. (1987): The effect of shoot spacing on the growth and branch development of the moss *Rhytidiadelphus triquetrus*. New Phytologist **109**: 499-504.
- BENEDICT, J.B. (1990): Lichen mortality due to late-lying snow: Results of a transplant study. Arct. Alp. Res. **22**: 81-89.
- BENEDICT, J.B. (1991): Experiments on Lichen Growth II. Effects of a Seasonal Snow Cover. Arctic and Alpine Research **23** (2): 189-199.
- BENGTSON, J.; FAGERSTRÖM, T. & RYDIN, H. (1994): Competition and coexistence in plant communities. Trends in Ecology and Evolution. Vol. 9 (7): 246-250.
- BESCHEL, R.E. (1950): Flechten als Altersmaßstab rezenter Moränen. Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie, **1**: 152-161.
- BEWLEY, J.D. (1979): Physiological aspects of desiccation tolerance. Annual Reviews of Plant Physiology **30**, 195-238.
- BLUM, O.B. (1973): Water relations. in Ahmadjian, V. & Hale, M.E. (Hrsg.): The Lichens, Academic Press, New York: 381-400.
- BUSTAMANTE, R., SEREY, I. & GUZMÁN, G. (1989): Mortalidad de musgos y distribución de *Usnea aurantiaco-atra*: Efectos alelopáticos? Ser. Cient. INACH **39**: 69-73.
- CASTELLO, M. & NIMIS, P.L. (1997): Diversity of lichens in Antarctica In B. Battaglia; J. Valencia und D. W. H. Walton (Hrsg.): Antarctic Communities. Cambridge University Press, Cambridge: 221-225.
- CERNUSCA, A. (1982): Standardmeteorologie und Mikrometeorologie. in Janetschek, H. (Hrsg.): Ökologische Feldmethoden, Ulmer, Stuttgart: 9-27.
- CHAMBERS, M.J.G. (1966): Investigations of patterned ground at Signy Island, South Orkney Islands: III. Miniature patterns, frost heaving and general conclusions. Br. Antarct. Surv. Bull. **12**, 1-22.
- CHAMBERS, M.J.G. (1967): Investigations of patterned ground at Signy Island, South Orkney Islands: I. Interpretation of mechanical analyses. Br. Antarct. Surv. Bull. **9**, 21-40.
- CLAUSEN, E. (1964): The tolerance of hepatics to desiccation and temperature. The Bryologist **67**: 411-417.
- COLLINS, N.J. (1973): Productivity of Selected Bryophyte Communities in the Maritime Antarctic. In L.C. Bliss & F.E. Wielgolaski (Hrsg.); Primary Production and Production Processes, Tundra Biome. Edmonton, IBP Tundra Biome Steering Committee. pp. 177-183.

- COLLINS, N.J. (1976): Growth and population dynamics of the moss *Polytrichum alpestre* in the maritime Antarctic. *OIKOS* **27**: 389-401.
- COXON, D.S. & LANCASTER, J. (1989): The morphological basis of variation in net photosynthesis and respiratory responses of the mat-forming lichen species *Stereocaulon virginatum* and *S. tomentosum*. *Can. J. Bot.* **67**: 167-176.
- CRUM, H. & ANDERSON, L.E. (1981): Mosses of Eastern north Amerika. Columbia University press, New York. 1328p.
- DAVEY, M.C. (1997): Effects of short-term dehydration and rehydration on photosynthesis and respiration by Antarctic bryophytes. *Environmental and Experimental Botany* **37**: 187-198.
- DAVEY, M. C. & ROTHERY, P. (1996): Seasonal Variation in Respiratory and Photosynthetic Parameters in Three Mosses from the Maritime Antarctic. *Annals of Botany* **78**: 719-728.
- DILKS, T.J.K. & PROCTOR, M.C.F. (1974): The pattern of recovery of bryophytes after desiccation. *J. Bryol.* **8**: 97-115.
- DILKS, T.J.K. & PROCTOR, M.C.F. (1975): Comparative experiments on temperature responses of bryophytes: assimilation, respiration and freezing damage. *J. Bryol.* **8**: 317-336.
- DURING, H.J. (1979): Life strategies of bryophytes: a preliminary review. *Lindbergia*, **5**: 2-18.
- DURING, H.J. (1992): Ecological classification of bryophytes and lichens. In Bates, J.W. & Farmer, A.M. (Hrsg.): *Bryophytes and Lichens in a changing Environment*. Oxford University Press, Oxford: 1-31.
- FLOCK, J.W. (1978): Lichen-Bryophyte Distribution along a Snow-Cover Soil-Moisture Gradient, Niwot Ridge, Colorado. *Arctic and Alpine Research* **10**(1): 31-47.
- FARRAR, J.F. & SMITH, D.C. (1976): Physiological ecology of the lichen *Hypogymnia physodes*. III. The importance of the rewetting phase. *New Phytologist*, **81**: 65-69.
- FOWBERT, J.A. (1996): An experimental study of growth in relation to morphology and shoot water content in maritime Antarctic mosses. *New Phytologist* **133**: 363-373.
- FURMANCZYK, K. & OCHYRA, R. (1982) Plant communities of the Admiralty bay region (King George Island, South Shetland Islands, Antarctic) I. Jasnorzewski gardens. *Pol. Polar Res.* **3**: 25-39.
- GANNUTZ, T.P. (1970): Photosynthesis and Respiration of Plants in the Antarctic Peninsula Area. *Antarctic Journal U.S.* **5**: 49-52.
- GIMINGHAM, C.H. & BIRSE, E.M. (1957): Ecological studies on growth-form in bryophytes. I: Correlations between growth-form and habitat. *Journal of Ecology*, **45**: 433-445.
- GIMINGHAM, C.H. & SMITH, R.I.L (1970): Bryophyte and Lichen Communities in the maritime Antarctic. *Antarctic Ecology* (Ed. M.W. Holdgate), pp. 752-785. Academic Press. London.
- GIMINGHAM, C.H. & SMITH, R.I.L (1971): Growth Form and Water Relations of Mosses in the Maritime Antarctic. *Br. Antarct. Surv. Bull.* **25**: 1-21.
- GOLDBERG, D.; & NOVOPLANSKY, A. (1997): On the relative importance of competition in unproductive environments. *Journal of Ecology* **85**: 409-418.
- GOLDSMITH, F.B.; HARRISON, C.M. & MORTON, A.J. (1986): Description and analysis of vegetation. In *Methods in Plant Ecology* Hrsg. P.D. Moore & S.B. Chapman. Blackwell Scientific Publications, Oxford: 437-524.
- GREENE, S.W., GREENE, D.M, BROWN, P.D. & PACEY, J.M. (1970). Antarctic moss flora. I: The genera *Andreaea*, *Pohlia*, *Polytrichum*, *Psilopilum* and *Sarconeurum*. *British Antarctic Survey Scientific Reports*, **64**: 1-118.
- GREEN, T.G.A., SCHROETER, B. & SANCHO, L.G. (1999): Plant Life in Antarctica. In *Handbook of Functional Plant Ecology* (Hrsg. Valladares, F. & Pugnaire, F.J.), Marcel Dekker, Basel: 495-543.
- GRIME, J.P. (1979): *Plant Strategies and Vegetation Processes*. Chichester, Wiley.

- HÄCKEL, H. (1999): Meteorologie. Eugen Ulmer, Stuttgart. 448p.
- HARRISON, P.M. & ROTHERY, P. (1988): Net CO<sub>2</sub> Exchange in Relation to Thallus Moisture and Temperature in two Fruticose Lichens *Usnea antarctica* and *Usnea aurantiaco-atra* from the Maritime Antarctic. *Polarforschung* **58** (2/3): 171-179.
- HÉBANT, C. (1977): The Conducting Tissues of Bryophytes. Vaduz, Cramer.
- HEDENÄS, L. (1993): Field and microscope keys to the Fennoscandian species of the Calliergon-Scorpidium-Drepanocladus complex. *Biodetector*, Märsta. 79p.
- HOCHSCHILDT, V. (1995): Geomorphologische Kartierung und Untersuchung der Auftaudynamik mit ERS-1-SAR-Daten im Bereich der Antarktischen Halbinsel. *Bremer Beiträge zur Geographie und Raumplanung* **28**: 1-160.
- HOLDGATE, M.W. (1964): Terrestrial Ecology in the maritime Antarctic, in *Biologie Antarctique*, Hrsg.: R. Carrick, M. Holdgate & J. Prévost, pp. 181-194, Hermann, Paris.
- HOOKE, T.N. (1980a): Growth and Production of *Cladonia rangiferina* and *Sphaerophorus globosus* on Signy Island, South Orkney Islands. *Br. Antarct. Surv. Bull. Nr.* **50**: 27-34.
- HOOKE, T.N. (1980b): Growth and Production of *Usnea antarctica* and *U. fasciata* on Signy Island, South Orkney Islands. *Br. Antarct. Surv. Bull. Nr.* **50**: 35-49.
- HU, S.S. (1998): Moss community types and species diversity of southern Fildes Peninsula (King George Island, South Shetland Islands) Antarctica. *J. Hattori Bot. Lab.* **84**: 187-198.
- HUNECK, S. (1983): Chemistry and Biochemistry of Bryophytes. in: Schuster, R.M. (Hrsg.) *New Manual of Bryology*. Volume 1. Hattori Botanical Laboratory, Tokyo.
- JACOBSEN, P. & KAPPEN, L. (1988): Lichens from the Admiralty bay region, King George Island (South Shetland Islands, Antarctica). *Nova Hedwigia* **46**: 503-510.
- JAHNS, H.M. & OTT, S. (1997): Life strategies in lichens – some general considerations. *Bibliotheca Lichenologica* **67**: 49-67.
- JOHN, E. & DALE, M.R.T. (1995): Neighbor relations within a community of epiphytic lichens and bryophytes. *The Bryologist* **98**: 29-37.
- KAPPEN, L. (1983): Ecology and physiology of the Antarctic fruticose lichen *Usnea sulphurea* (Koenig) Th. Fries. *Polar Biol.* **1**: 249-255.
- KAPPEN, L. (1985a): Lichen-Habitats as Micro-Oasis in the Antarctic – The Role of Temperature. *Polarforschung* **55** (1): 49-54.
- KAPPEN, L. (1985b): Vegetation and Ecology of Ice-Free Areas of Northern Victoria Land, Antarctica. 2. Ecological Conditions in Typical Microhabitats of Lichens at Birthday Ridge. *Polar Biol* **4**: 227-236.
- KAPPEN, L. (1985c): Water relations and net photosynthesis of *Usnea*. A comparison between *Usnea fasciata* (maritime Antarctic) and *Usnea sulphurea* (continental Antarctic). in *Lichen physiology and cell biology*. Plenum Press, New York: 41-56.
- KAPPEN, L. (1988): Ecophysiological relationships in different climatic regions. In Galun, M. (Hrsg.): *CRC Handbook of lichenology*. CRC Press, Boca Raton, Florida: pp. 37-100.
- 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. (1990): *Usnea sphacelata*, its role in the vegetation and its possible growth capacity on Bailey Peninsula, Wilkes Land. *Bibl. Lichenol.* **38**: 277-289.
- KAPPEN, L. (1993a): Lichens in the Antarctic Region. In: Friedmann, E.I. (Hrsg.) *Antarctic Microbiology*. J. Wiley-Liss, New York. p. 433-490.
- KAPPEN, L. (1993b): Plant Activity under Snow and Ice, with Particular Reference to Lichens. *Arctic*, Vol. **46** Nr. 4: 297-302.
- KAPPEN, L. & LANGE, O. (1972): Die Kälteresistenz einiger Makrolichenen. *Flora* **161**: 1-29.

- KAPPEN, L. & REDON, J. (1987): Photosynthesis and water relations of three maritime Antarctic lichen species. *Flora* **179**: 215-229.
- KAPPEN, L.; BÖLTER, M & KÜHN, A. (1987): Photosynthetic activity of lichens in natural habitats in the maritime Antarctic. *Bibl. Lichenol.* **25**: 297-312.
- 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* **184**: 209-220.
- KAPPEN, L.; BREUER, M. & BÖLTER, M. (1991): Ecological and physiological investigations in continental Antarctic cryptogams. 3. Photosynthetic production of *Usnea sphacelata*: diurnal courses, models, and the effect of photoinhibition. *Polar Biology* **11**: 393-401.
- KENNEDY, A.D. (1993a): Water as a limiting factor in the Antarctic terrestrial environment: A biogeographical synthesis. *Arctic and Alpine Research* **25**: 308-315.
- KENNEDY, A.D. (1993b): Photosynthetic response of the Antarctic moss *Polytrichum alpestre* Hoppe to low temperatures and freeze-thaw-stress. *Polar Biology* **13**: 271-279.
- KERSHAW, K.A. (1983): The thermal operating-environment of a lichen. *Lichenologist* **15**: 191-207.
- LANGE, O.L. (1953): Hitze- und Trockenresistenz der Flechten in Beziehung zu ihrer Verbreitung. *Flora* **140**, 39-97.
- LANGE, O.L. (1969): CO<sub>2</sub>-Gaswechsel von Moosen nach Wasserdampfaufnahme aus dem Luftraum. *Planta* **89**: 90-94.
- LANGE, O.L., & KILIAN, E. (1985): Reaktivierung der Photosynthese trockener Flechten durch Wasserdampfaufnahme aus dem Luftraum: Artspezifisch unterschiedliches Verhalten. *Flora* **176**: 7-23.
- LANGE, O.L., KILIAN, E. & ZIEGLER, H. (1986): Water vapour uptake and photosynthesis of lichens: performance differences in species with green and blue-green algae as phycobionts. *Oecologia* **71**: 104-110.
- LARCHER, W. (1994): Ökophysiologie der Pflanzen. Ulmer Verlag, Stuttgart 394p.
- LARSON, D.W. & KERSHAW, K.A. (1975): Studies on lichen-dominated systems: XI. Lichen-heath and winter snow cover. *Canadian Journal of Botany* **53**: 621-626.
- LARSON, D.W., MATTHES-SEARS, U. & NASH III, T.H. (1986): The ecology of *Ramalina menziesii*. II. Variation in water relations and tensile strength across an inland gradient. *Can. J. Bot.* **64**: 6-10.
- LINDSAY, D.C. (1971): Vegetation of the South Shetland Islands. *Br. Antarct. Surv. Bull.* Nr. **25**: 59-83.
- LONGTON, R.E. (1967): Vegetation in the maritime Antarctic. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, **B252**: 213-235.
- LONGTON, R.E. (1970): Growth and Production of the Moss *Polytrichum alpestre* Hoppe in Antarctic Regions. *Aus Antarctic Ecology*, Vol. 2. Academic Press, London: 818-837.
- LONGTON, R.E. (1988): The biology of polar bryophytes and lichens. Cambridge University Press, Cambridge. 391p.
- LONGTON, R.E. & HOLDGATE, M.W. (1979): The South Sandwich Islands, IV. Botany. *British Antarctic Survey Scientific Reports*, **94**: 1-53.
- LÖSCH, R. ; KAPPEN, L. & WOLF, A. (1983): Productivity and Temperature of Two Snowbed Bryophytes. *Polar Biology* **1**: 243-248.
- LÖSCH, R. ; PAUSE, R. & MIES, B.. (1997): Poikilohydrie und räumlich-zeitliche Existenznische von Flechten und Moosen. *Bibl. Lichenol.* **67**: 145-162.
- MÄGDEFRAU, K. (1982): Life-forms of Bryophytes. in Smith, A.J.E. (Hrsg.), *Bryophyte ecology*, Chapman and Hall, London: 45-58.

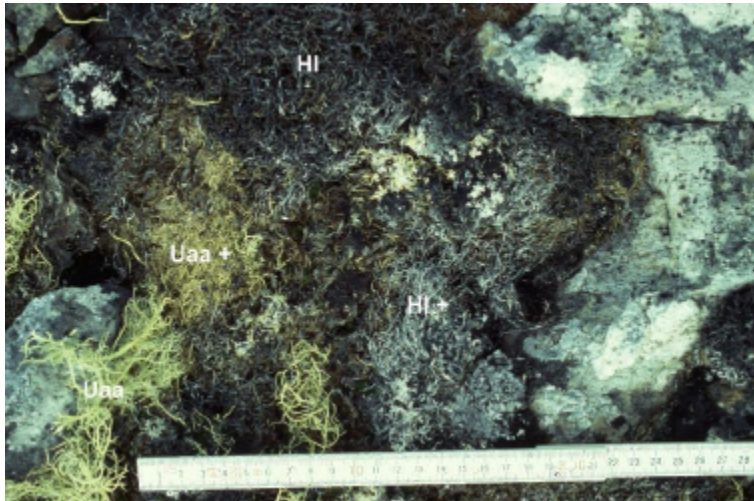
- MATTHES-SEARS, U. & NASH III, TH. (1986): The ecology of *Ramalina menziesii* V. Estimations of gross carbon gain and thallus hydration source from diurnal measurements and climatic data. *Canadian Journal of Botany*, **64**: 1698-1702.
- MACFARLANE, J.D. & KERSHAW, K.A. (1982): Physiological-environmental interactions in lichens. XIV. The environmental control of glucose movement from alga to fungus in *Peltigera polydactyla*, *P. rufescens* and *Collema furfuraceum*. *New Phytologist* **91**: 93-101.
- MCCLEARY, J.A., P.S. SYPHERD & D.L. WALKINGTON (1960): Mosses and possible sources of antibiotics. *Science* **131**: 108.
- MEUSEL, H. (1935): Wuchsformen und Wuchstypen der europäischen Laubmoose. *Nova Acta Leopoldiana N.F.* **3 (12)**: 123-277.
- NASH III, T.H. & MOSER, T.J. (1982): Vegetational and physiological patterns of lichens in North American Deserts. *Journal of the Hattori Botanical Laboratory*, **35**: 331-336.
- NOAKES, T.D. & LONGTON, R.E. (1988): Pathways of water movement in relation to structure and micromorphology in Antarctic mosses. *Polarforschung* **58 (2/3)**: 125-138.
- OCHYRA, R. (1998): The Moss Flora of King George Island, Antarctica. W. Szafer Institute of Botany, Cracow.
- OCHYRA, R. & VANA, J. (1989): The hepatics reported from the Antarctic and an outline of their phytogeography. *Pol. Polar Res.* **10**: 211-229.
- OCHYRA, R.; BENAREK-OCHYRA, H. & LEWIS-SMITH, R. (1998): 170 years of research of the Antarctic moss flora. In Glowacki, P. & Bednarek, J. (Hrsg.), *Polish Polar Studies 25<sup>th</sup> Polar Symposium*, Warsaw, 1998. Institute of Geophysics of the Polish Academy of Sciences, Warschau: p 159-177.
- ODUM, E.P. (1969): The strategy of ecosystem development. *Science* **164**, p. 262-270.
- OECHEL, W.C.. (1976): Seasonal patterns of temperature response of CO<sub>2</sub> flux and acclimation in arctic mosses growing in situ. *Photosynthetica*, **10**, 447-456.
- OECHEL, W.C. & COLLINS, N.J. (1976): Comparative CO<sub>2</sub>-exchange patterns in mosses from two tundra habitats at Barrow, Alaska. *Canadian Journal of Botany*, **54**: 1355-1369.
- OECHEL, W.C. & SVEINBJÖRNSSON, B. (1978): Primary production processes in Arctic bryophytes at Barrow, Alaska. In Tieszen, L.L. (Hrsg.) *Vegetation and Production Ecology of an Alaskan Arctic Tundra*, Springer Verlag, New York: 269-298.
- ØKLAND, R.H. (1994): Patterns of bryophyte association at different scales in a Norwegian boreal spruce forest. *Journal of Vegetation Science* **5**: 127-138.
- PALMER, M.W. & DIXON, P.M. (1990): Small-scale environmental heterogeneity and the analysis of species distribution along gradients. *Journal of Vegetation Science* **1**: 57-65.
- PONTAILLER, J.-Y. (1990): A cheap quantum sensor using a gallium arsenide photodiode. *Funct. Ecol.* **4**: 591-596.
- PROCTOR, M.C.F. (1984): Structure and Ecological Adaptation. In *The Experimental Biology of Bryophytes*. Hrsg. A.F. Dyer & J.G. Duckett, Academic Press, London. p. 9-37.
- PUTZKE, J. & PEREIRA, A.B. (1990): Mosses of King George Island, Antarctica. *Pesq. antárt. bras.* **2(1)**: 17-71.
- REDON, J. (1985): *Líquenos Antárticos*. INACH, Santiago de Chile, 123 pp.
- REISIGL, H. (1982): Konzepte und Methoden der Vegetationskunde in Janetschek, H. (Hrsg.): *Ökologische Feldmethoden*, Ulmer, Stuttgart: 82-99.
- RIED, A. (1960): Stoffwechsel und Verbreitungsgrenzen von Flechten. II. Wasser- und Assimilationshaushalt, Entquellungs- und Submersionsresistenz von Krustenflechten. *Biologisches Zentralblatt*, **79**: 129-151.
- RUNDEL, P.W. (1974): Water relations and morphological variation in *Ramalina menziesii* Tayl. *Bryologist* **10**: 23-32.

- RYDIN, H. (1997): Competition Among Bryophytes. *Advances in Bryology* **6**: 135-168.
- SANCHO, L.G. & KAPPEN, L. (1989): Photosynthesis and water relations and the role of anatomy in Umbilicariaceae (lichenes) from Central Spain. *Oecologia* **81**: 473-480.
- SANCHO, L.G., SCHULZ, F., SCHROETER, B. & KAPPEN, L. (1999): Bryophyte and lichen flora of South Bay (Livingston Island: South Shetland Islands, Antarctica). *Nova Hedwigia* **68**, 301-337.
- SCHLENSOG, M. (2000): Zur Photosynthese antarktischer Kryptogamen unter besonderer Berücksichtigung von Photoinhibition. Dissertation, Universität Kiel, 131p.
- SCHROETER, B. (1991): Untersuchungen zur Primärproduktion und Wasserhaushalt von Flechten der maritimen Antarktis unter besonderer Berücksichtigung von *Usnea antarctica* Du Rietz. Dissertation, Universität Kiel. 148p.
- SCHROETER, B. (1997): Die Grundlagen der Stoffproduktion von Kryptogamen unter besonderer Berücksichtigung der Flechten. Habilitationsschrift, Universität Kiel, 130pp.
- SCHROETER, B.; SCHULZ, F. & KAPPEN, L. (1997): Hydration-related spatial and temporal variation of photosynthetic activity in Antarctic lichens. In B. Battaglia; J. Valencia und D. W. H. Walton: *Antarctic Communities*. Cambridge University Press, Cambridge: 221-225.
- SCHROETER, B., KAPPEN, L., SCHULZ, F. & SANCHO, L.G. (2000): Seasonal variation in the carbon balance of lichens in the maritime Antarctic: longterm measurements of photosynthetic activity in *Usnea aurantiaco-atra*. In Howard-Williams, C. & Davison, W (Hrsg.): *Antarctic Ecosystems: Models for a wider ecological understanding*. Caxton Press, Chirstchurch. in Druck.
- SCHULZ, F. (1993): Beiträge zur Floristik und Ökologie von Bryophyten auf Livingston Island, Süd-Shetland Inseln, Antarktis. Diplomarbeit, Universität Kiel.
- SCHULZ, F., WINKLER, J.B. & KAPPEN, L. (1998): Components of terrestrial vegetation, pattern and processes. *Berichte zur Polarforschung* **299**, 54-58.
- SCHULZ, F. & SCHROETER, B. (2000): The coupling of microclimate, CO<sub>2</sub>-exchange and activity: a case study on two *Parmelia* species in Swedish Lapland. *Bibl. Lichenol.* **75**: 353-364.
- SMITH, A.J.E. (1980): *The Moss Flora of Britain & Ireland*, Cambridge University Press, Cambridge. 686p.
- SMITH, R.I.L. (1972): Vegetation of the South Orkney Islands with particular reference to Signy Island. *British Antarctic Survey Scientific Reports*, **68**: 1-124.
- SMITH, R.I.L. (1990): Plant Community Dynamics in Wilkes Land, Antarctica. *Proc. NIPR Symp. Polar Biol.* **3**: 229-244.
- SMITH, R.I.L. (1996): Terrestrial and Freshwater Biotic Components of the Western Antarctic Peninsula. *Antarctic Research Series*, Vol. **70**: 15-59.
- SMITH, R.I.L. & GIMINGHAM, C.H. (1976): Classification of Cryptogamic Communities in the Maritime Antarctic. *Br. Antarct. Surv. Bull.* **43**: 25-47.
- TILMAN, D. (1982): *Resource competition and Community Structure*. Princeton University Press, Princeton.
- TILMAN, D. (1988): *Plant strategies and the dynamic structure of plant communities*, Princeton University Press, Princeton. 360pp.
- TONGEREN, O.F.R. VAN (1987): Cluster analysis. in JONGMAN, R.H.G., BRAAK, C.J.R. TER, & TONGEREN, O.F.R. VAN [Hrsg.]: *Data analysis in community and landscape ecology*. Pudoc, Wageningen. 174-203.
- USHER, M.B. (1983): Pattern in the simple moss-turf communities of the Sub-Antarctic and Maritime Antarctic. *J. Ecol.* **71**: 945-958.
- VITON, P. (1970): Pluviomètres et pluviographes utilisés par météorologie nationale. In Institut National de la Recherche Agronomique (ed.): *Technique d'étude des facteurs physiques de la biosphère*. Service des publications I.N.R.A., Versailles.



- VITT, D.H. (1990): Growth and production dynamics of boreal mosses over climatic, chemical and topographic gradients. *Botanical Journal of the Linnean Society* **104**: 35-59.
- WALTON, D.W.H. (1984): The terrestrial environment. In Laws, R.M. (Hrsg.) *Antarctic Ecology*, vol. 1, Academic Press, London: 1-60.
- WATSON, M.A. 1979: Age structure and mortality within a group of closely related mosses. *Ecology* **60**: 998-997.
- WEBBER, P. J. (1978): Spatial and temporal variation of the vegetation and its production, Barrow, Alaska. In Tieszen, L.L. (Hrsg.) *Vegetation and Production Ecology of an Alaskan Arctic Tundra*, Springer Verlag, New York: 37-112.
- WILLKOMM, H., BÖLTER, M. & KAPPEN, L. (1991): Age Estimation of Antarctic Macrolichens by Radiocarbon Measurements. *Polarforschung* **61 (2/3)**: 103-112.
- WILSON, J.B., STEEL, J.B. NEWMAN, J.E & TANGNEY, R.S. (1995): Are bryophyte communities different? *Journal of Bryology* **18**: 689-705.
- WINKLER, B. (2000): Die Rolle der Schneebedeckung für die Kryptogamenvegetation in der maritimen Antarktis – Eine Fallstudie auf der Potter-Halbinsel, King George Island. Dissertation, Universität Kiel, 139p.
- WIRTH, V. (1995): Die Flechten Baden-Württembergs. Eugen Ulmer, Stuttgart. 1006p.

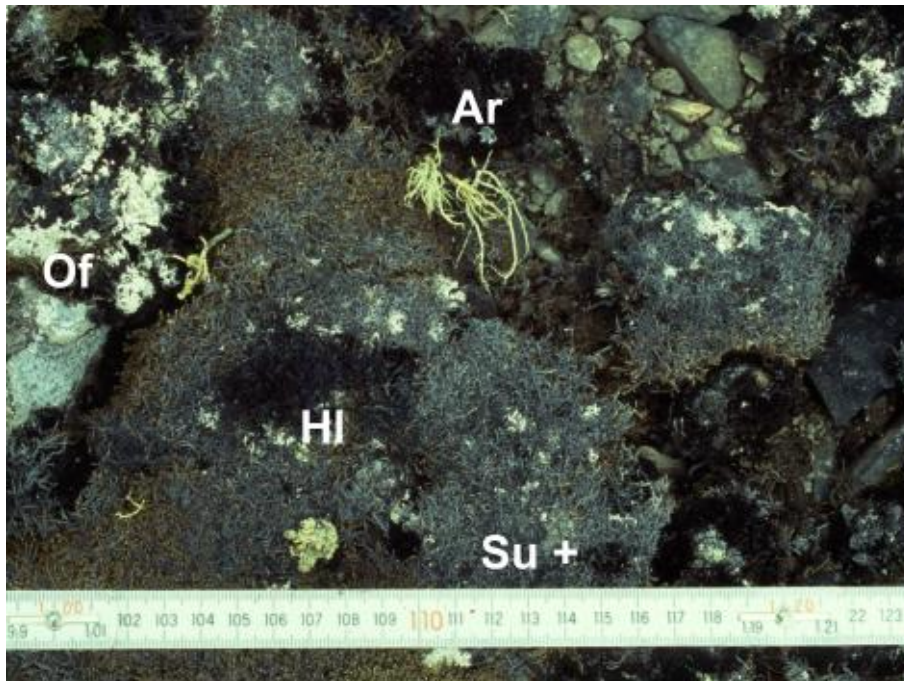
**Anhang a** (Beispiele von absterbenden Moos- und Flechtenthalli)



Durch Pilzinfektion abgestorbene *Usnea aurantiaco-atra* (Uaa) und *Himantormia lugubris* (HI). Abgestorbene Bezirke sind mit + gekennzeichnet. (Ardley Island)



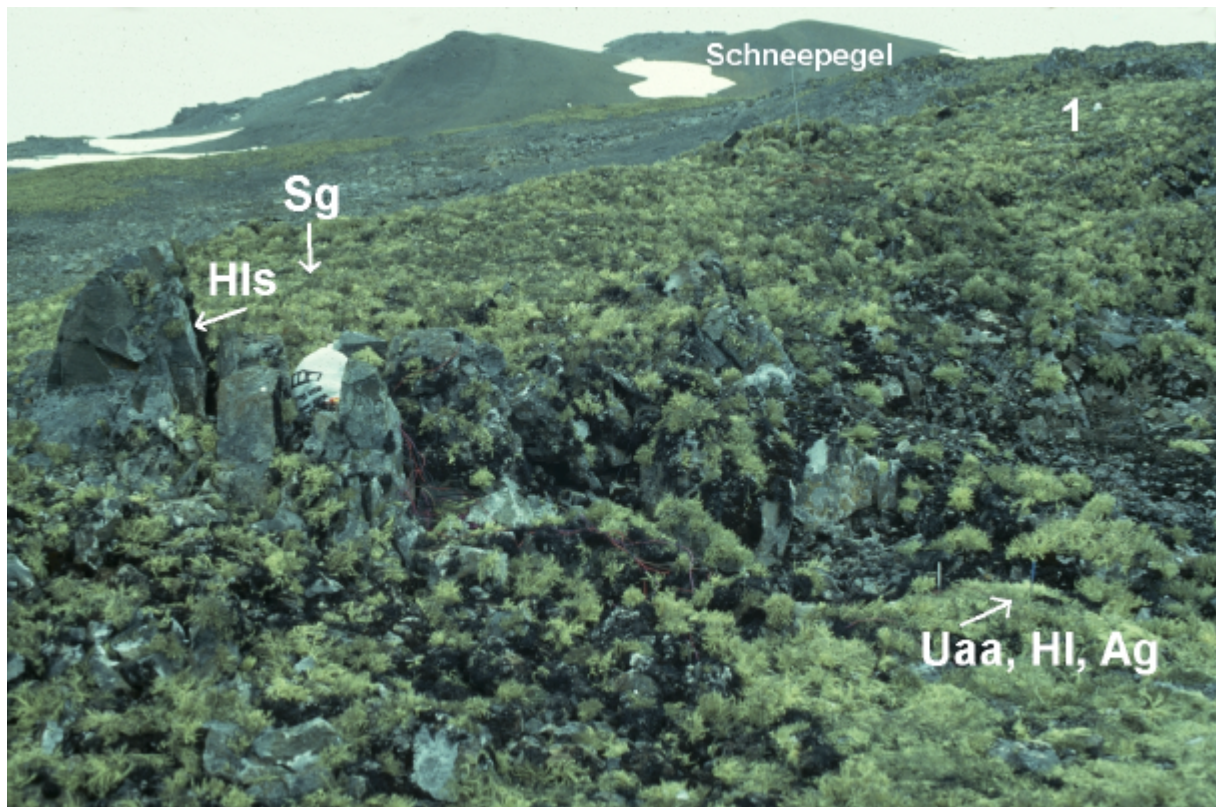
Sterbende Thalli von *Usnea aurantiaco-atra*. Der Trägerstein ist aus einem benachbarten Felsen aus ca. 1 m herausgebrochen. Den Thalli fehlen Fibrillen und die Rinde ist teilweise aufgebrochen. Die Thallusspitzen sind meist abgebrochen. (Fildes Halbinsel)



Verpilzte *Sanionia uncinata* (Su +) Nähe Messstandort 11 (Fildes Peninsula, King George Island). Man beachte die vitalen randlichen Bereiche. Weitere vorkommende Arten *Andreaea regularis* (Ar), *Himantormia lugubris* (HI) und *Ochrolechia frigida* (Of). Gelbe Thalli sind Thallusbruchstücke von *Usnea aurantiaco-atra*.



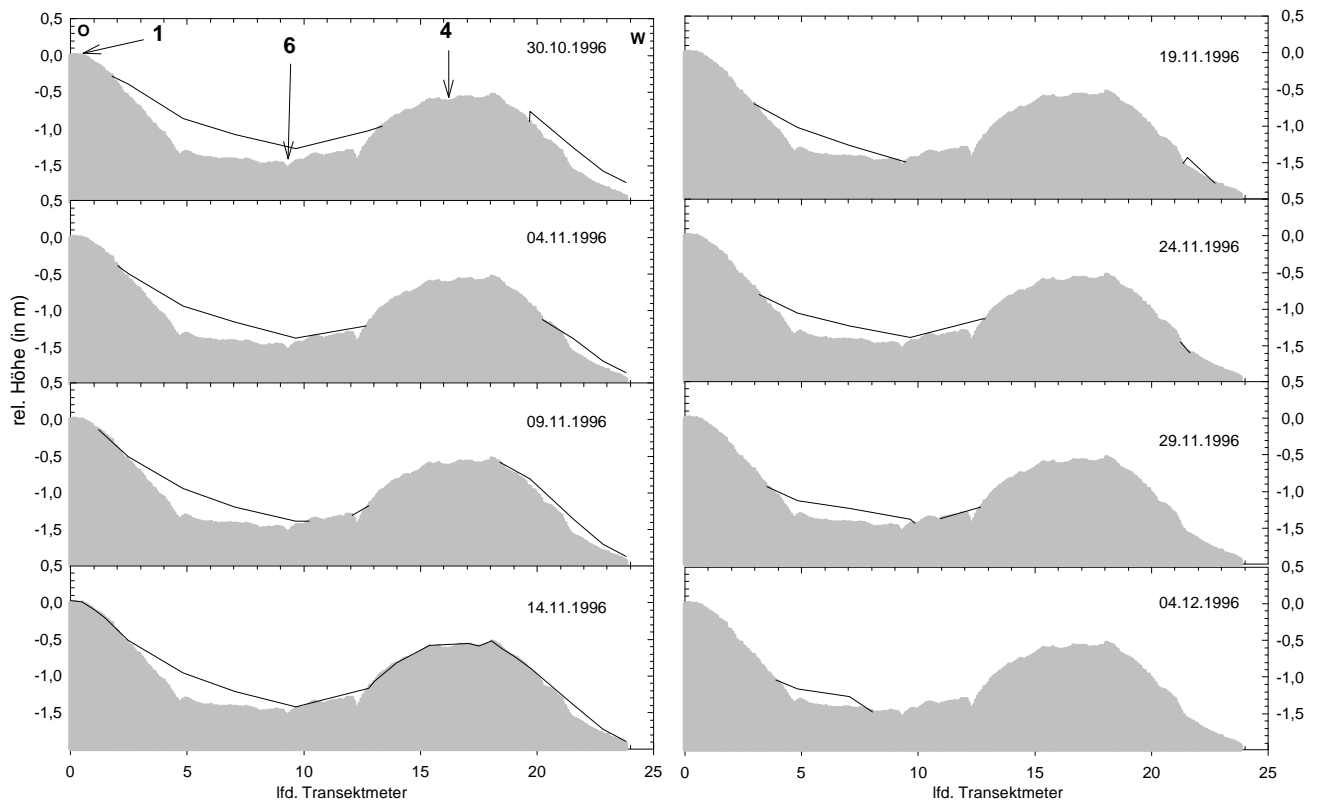
**Anhang b:** (Mikroklimastation bei Great Wall)



Die an 10 Pegeln gemessenen Schneehöhen in einem Transekt bei Great Wall (Lage siehe Abb. 2.4 Nr. 4). Die Hauptwindrichtung ist Nord (senkrecht zur Blickrichtung). Das Substrat ist grau eingezeichnet, die Höhe der Schneedecke wird durch die horizontalen Linien wiedergegeben. Die Lage der Niederschlagsammler (1, 4, und 6) (vgl. Abs. 2.3.2) im Transektbereich ist durch die Pfeile gekennzeichnet.

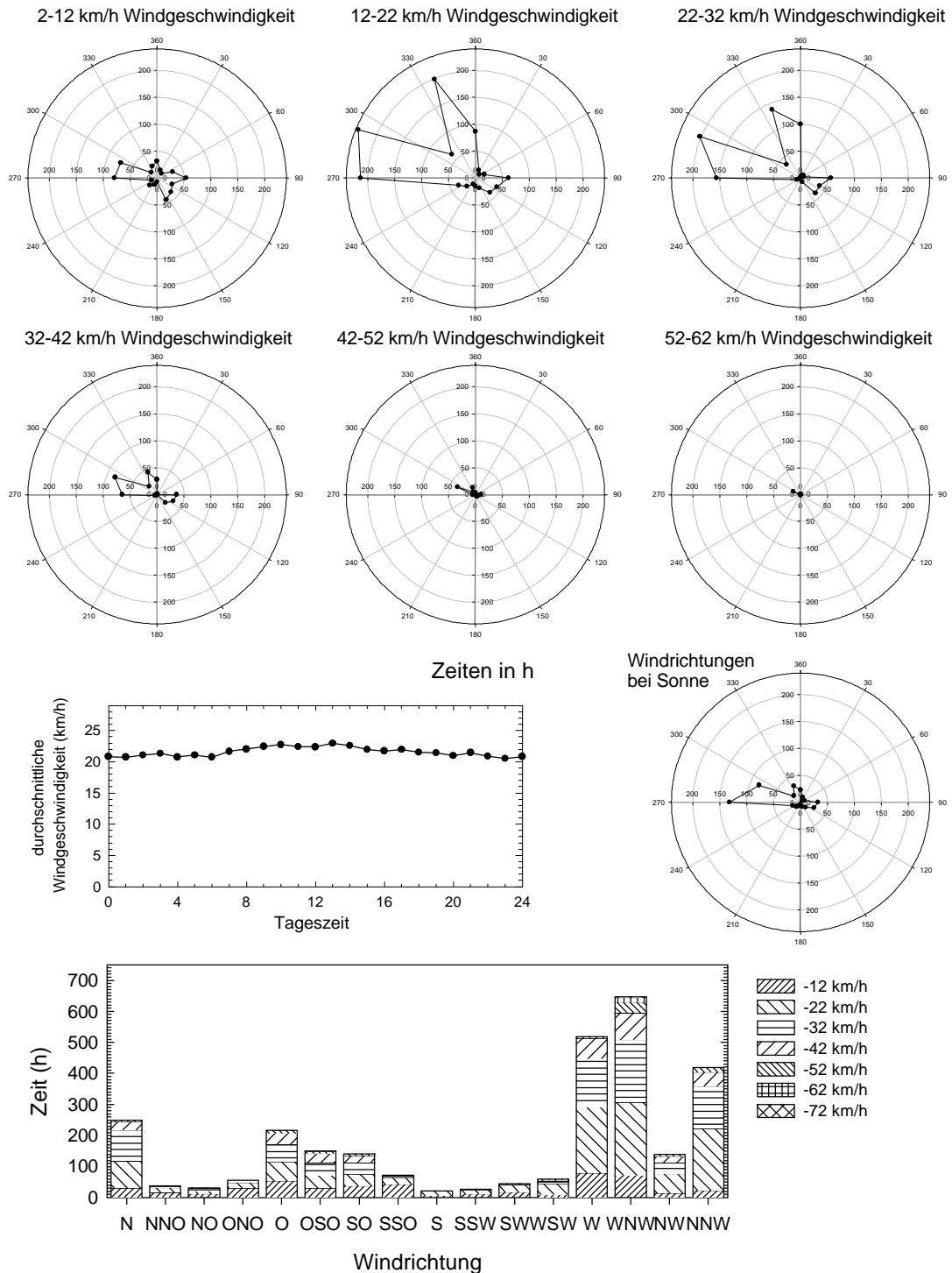
## Anhang c (Schneeverhältnisse im Bereich der Niederschlagssammler)

## Schneetranssekt Great Wall



Lage der Mikroklimainstallation bei Great Wall, Fildes Halbinsel (Lage siehe Abb. 2.4 Nr. 4). Die Blickrichtung ist in nordwestliche Richtung. Die Lage der gemessenen Thalli wird durch die Pfeile gekennzeichnet. (*Usnea aurantiaco-atra* = Uaa, *Himantormia lugubris* = Hl (bodenbewohnend) und Hls (epilithisch), *Andreaea gainii* = Ag und *Sphaerophorus globosus* = Sg). 1 gibt die Lage eines Niederschlagssammlers (vgl. 2.3.2) wieder. Am Pegel begann ein Transekt zur Untersuchung der Schneehöhen (siehe Anlage b).

**Anhang d:** (von der meteorologischen Station Great Wall gemessene Windverhältnisse im Sommer 96/97)



von der meteorologischen Station in „Great Wall“ aufgezeichnete Windverhältnisse. Die Datenbasis sind stündliche, automatische Messungen (Mittelwerte).

## Danksagung

Mein herzlichster Dank gilt meinem akademischen Lehrer Herrn Prof. Dr. L. Kappen für die wissenschaftliche Betreuung und die kritische Diskussion meiner Arbeit. Besonders danke ich für das Vertrauen und die Freiheit die mir dabei gewährt wurde.

Ein besonderer Dank gilt auch Dr. Burkhard Schroeter für die Ratschläge und Hinweise, die das Navigieren in antarktischen Gewässern und in der Wissenschaft erleichterten.

Den Mitarbeitern der Polarökologie und des botanischen Institutes, insbesondere Jana Barbro Winkler und Mark Schlenso, sei hier für die nette kollegiale Atmosphäre gedankt.

Ein extragroßes Dankeschön geht an Nils Reimann und Jens „Jensito“ Kowalke, die in schwerer Stunde selbstlos sich für mich einsetzten. Gedankt sei auch allen weiteren Jubany-Fahrern, es hat doch trotz einiger Unzulänglichkeiten viel Spaß gemacht.

Mein Dank gilt weiterhin den deutschen Steuerzahlern, welche mir über die DFG meine Arbeit in der Ferne erst ermöglichten. Ebenso wird den chinesischen Kollegen gedankt, deren Gastfreundschaft ich einen antarktischen Sommer in Anspruch nehmen durfte.

Schließlich gilt mein Dank auch Christiane Eschenbach, die mit Liebe und Geduld zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen hat.

## Erklärung

---

### Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass die vorliegende Dissertation, abgesehen von der Beratung meiner akademischen Lehrer, nach Inhalt und Form meine eigene Arbeit ist. Sie hat weder ganz noch zum Teil schon an anderer Stelle im Rahmen eines Prüfungsverfahrens vorgelegen. Dies ist mein erster Promotionsversuch.

Kiel, den 27.9.2000

Florian Schulz