

Eine Fallstudie über die Vegetationsverhältnisse, den Kohlenstoffhaushalt und mögliche Auswirkungen klimatischer Veränderungen in Westspitzbergen

Dietbert Thannheiser, Ingo Möller und Christoph Wüthrich

Synopsis

A case study of the vegetation, the carbon budget and possible consequences of climatic changes in Western Spitsberg

The paper presents the first results of a landscape ecological study dealing with the vegetation, the carbon budget and their alterations due to an increased cloudiness. In the study area Eidembukta (78°22' N, 12°43' E) the average carbon content is about 6.0 kg C m⁻². Depending on the vegetation and the soil conditions, between 5 and 23% of the carbon are stored in the vegetation, with a relationship of mostly 1 : 2 between above ground and below ground phytomass. In the high arctic coastal ecosystem the more developed soils, with humus lenses incorporated in B- and Cv-horizons (cryoturbation and solifluction), represent the dominating carbon pool. In summer 1996, rainy weather with permanent clouds caused a strong diminution in the carbon assimilation of the plants. Despite the midnight sun, all locations lost considerable amounts of carbon by respiration to the atmosphere. Even under fairly good light conditions only few plant communities were able to store more carbon dioxide by photosynthesis than is lost by respiration simultaneously. The carbon loss in the whole catchment area is estimated at about 343 kg C ha⁻¹ in such a chilly and damp summer. From this amount only 6 kg C ha⁻¹ leave the system as TOC.

Spitzbergen, Pflanzengesellschaften, CO₂-Flüsse

Arctic, Svalbard, plant communities, CO₂-fluxes climatic change.

1 Hintergrund, Fragestellung und Ziele der Fallstudie

In den letzten Jahren wurden in einer Vielzahl von Studien die Auswirkungen von erhöhtem CO₂-Gehalt der Atmosphäre oder von höheren Temperaturen auf die arktische Pflanzendecke untersucht. Klimamodelle prognostizieren eine überdurchschnittlich starke Erwärmung in der Arktis (MANABE & WETHERALD 1980), die sich zumindest für die Hocharktis auch mit

langjährigen Datenreihen (STEFFENSEN 1982) nachweisen läßt. Die seit Anfang dieses Jahrhunderts deutlich wahrnehmbare Erwärmung der arktischen Inseln hat bereits eine Einwanderungswelle von Pflanzenarten verursacht wie es z.B. SKYE (1989) für die Insel Hopen im Süden Svalbards zeigen konnte. Mehrfach wurde in den letzten Jahren auf die Möglichkeit einer weiteren Ausbreitung von thermophilen Arten (z.B. *Cassiope tetragona*, *Empetrum nigrum* ssp. *hermaphroditum*, *Betula nana*) mit einer weiteren Erwärmung auf Spitzbergen hingewiesen (WÜTHRICH 1991, THANNHEISER 1994, ELVEBAKK & SPJELKAVIK 1995).

Andererseits wird heute davon ausgegangen, daß die Erwärmung der Arktis im Winterhalbjahr am stärksten und daß im Sommer für arktische Breiten zusätzlich eine Bewölkungszunahme zu erwarten ist (MAXWELL 1992). Eine Bewölkungszunahme führt zu einem geringeren Strahlungseintrag auf der Erdoberfläche. Da die Photosynthese in der Arktis meist nicht unter lichtgesättigten Bedingungen verläuft (TIESZEN 1973), wirkt sich eine Lichtreduktion direkt auf die pflanzliche Primärproduktion im Sinne einer Kohlenstoffassimilation aus (WÜTHRICH & al. 1997b). Als weitere Folgen verändern sich damit auch die Vitalität, die Verbreitung der Pflanzen und die Kohlenstoffbilanz der hocharktischen Tundra.

Die Annahme einer verstärkten Bewölkung während der Vegetationsperiode ist der Ausgangspunkt des Gesamtprojektes und der folgenden Ausführungen. Als Ziel der gesamten Untersuchungen sollen letztlich Aussagen darüber gemacht werden können, welche Veränderungen bezüglich der Verbreitung und Zusammensetzung der Pflanzengesellschaften, der Phytomasse und des flächenhaften Kohlenstoffhaushaltes innerhalb eines konkreten Einzugsgebietes zu erwarten sind. Nicht die Veränderungen einzelner Pflanzenarten oder einzelner Pflanzenorgane stehen im Vordergrund der Untersuchung, sondern die Pflanzengesellschaften und ihre Eigenschaft als landschaftsökologisches Merkmal hoher Integrationsstufe nutzend-mögliche Veränderungen in der Fläche. Das Interesse an der Erforschung des Kohlenstoffhaushaltes in der Arktis ergibt sich letztlich aus der Ungeklärtheit, wie sich eine Klimaänderung auf das Verhältnis zwischen C-Fixierung und C-Remineralisierung auswirkt, und ob Gebiete, die heute terrestrische

Speichergebiete für Kohlenstoff darstellen, sich in CO₂-Quellen verwandeln könnten. Durch einen solchen Wandel großer Flächen würde vermehrt Kohlenstoff in Form von Spurengasen freigesetzt werden, weshalb sich eine Erwärmung und ihre Folgen noch verstärken würden.

Die großen terrestrischen C-Speicher liegen in den Mooren der borealen Zone und in den subpolaren Mooren, die zusammen eine Fläche von 3,5 x 10⁶ km² bedecken (KIVINEN & PAKARINEN 1981). Svalbard spielt als Kohlenstoffspeicher zwar nur eine marginale Rolle, zumal dieser hocharktische Inselarchipel mit seiner Fläche von 63 000 km² heute noch zu 60% von Gletschern bedeckt ist und 25% der Frostschuttzone, aber nur 15% der Tundrenzone angehören (HISDAL 1985). Der Humusgehalt ist jedoch von zentraler Bedeutung für die hocharktischen Böden, da ein hoher Humusgehalt die Pufferfähigkeit gegenüber Schwankungen des Wärme-, Nährstoff- und Wasserhaushalts steigert (WÜTHRICH 1994) und damit die Existenzbedingungen der Pflanzen und Tiere in diesem hocharktischen Ökosystem beeinflusst. Da Vegetationsänderungen von einer Veränderung der Bodeneigenschaften begleitet sind, ist insbesondere die Untersuchung des Verhältnisses von Produktion (P) und Respiration (R) von Bedeutung, da es die Entwicklung eines Humus- oder Torfhorizontes steuert (WÜTHRICH & al. 1994).

2 Zu der Vegetation und den Vegetationszonen Spitzbergens

Die hocharktische Inselgruppe besteht aus vier großen Inseln und wird im deutschen Sprachgebrauch mit dem Namen Spitzbergen bezeichnet. Die Norweger verstehen unter der Sammelbezeichnung Svalbard »kalte Kante«, Bezeichnung der Wikinger) den großen Inselarchipel einschließlich der Bäreninsel von 74° bis 81° nördlicher Breite.

Die Vegetationsbestände werden im Gelände durch die Feuchtigkeitsverhältnisse, die Windwirkung und den Schneeschutz differenziert. In arktischen Regionen ist das relativ üppige Wachstum an feuchten Standorten und das Auftreten einer schütterten Pflanzendecke auf trockenen Standorten auffallend. Innerhalb des Feuchtegradienten bestimmen das Relief, die Bodenart und die Porenverteilung im Boden die Vegetationsabfolgen, da die Evapotranspiration aufgrund der niedrigen Lufttemperaturen weniger bedeutsam ist als in Regionen mit stärkerer Einstrahlung.

Die Produktion ist in der Tundra, verglichen mit den gemäßigten Breiten, sehr gering. Die Phytomasse, besonders der Moose und auch einiger Hartgräser, ist durch einen hohen Anteil von Lignin und phenolischen Verbindungen schwer zersetzbar. Da die Abtragsprozesse, Sedimentverfrachtungen, Bodenbil-

dungsprozesse und die biologische Humifizierung und Mineralisierung im Winterhalbjahr beinahe vollständig eingestellt sind, kommt es im allgemeinen zur Anhäufung von teilzersettem Material in Form von Rohhumus.

In Abb. 1 werden vier verschiedene Vegetationszonen ausgewiesen. Die Polarwüstenzone umfaßt das Nordost-Land und die Ostküste Spitzbergens. Wegen der fehlenden Sommerwärme (kein Golfstromeinfluß, häufig Nebel) können sich nur wenige Pflanzen entwickeln (z.B. *Papaver dahlianum*). In der nördlichen Tundrenzone variiert die Vegetationsbedeckung zwischen 10 und 25%. Sie wird von einer Schneebodenvegetation (*Salix polaris*) und einer Fleckentundra (*Luzula arcuata ssp. confusa*) geprägt. Die mittlere Tundrenzone ist durch *Dryas octopetala* charakterisiert, und die Vegetationsbedeckung kann bis 50% betragen. In den Fjorden, wo Seenebel und niedrige Wolken nicht eindringen (Innere Fjordzone), kommt es zu einer größeren Erwärmung. Hier treten ca. 75% aller Pflanzen Spitzbergens (THANNHEISER 1996).

3 Methodik

3.1 Wahl des Untersuchungsgebietes

Das Untersuchungsgebiet der Fallstudie Eidembukta (78°22' N, 12°43' E) befindet sich auf einer Küstenebene West-Spitzbergens. Es grenzt direkt an das Meer (Abb. 1) und erhebt sich über eine ausgeprägte Sequenz postglazial gehobener Strandwälle bis 60 m über das Meer. Die Küstenebene ist sehr stark den vorherrschenden Westwinden ausgesetzt, weshalb während der kurzen Vegetationsperiode beinahe täglich Niederschläge aus Regen, Nieselregen und Küstennebeln zu beobachten sind. Eine dichte Wolkendecke sowie Nebelschwaden verringern das Potential der Sonnenscheindauer. Allein durch die ungünstigen Lichtverhältnisse erfolgt eine niedrige Primärproduktion durch die Pflanzen, dies bedingt eine verminderte Wurzelaufläuferbildung und auch geringere Samenproduktion. Im Fallstudiengebiet konnten nur 58 verschiedene Gefäßpflanzen registriert werden. Besonders unter den Kryptogamen setzen sich Arten durch, die an eine nebelreiche Umgebung angepasst sind, z.B. *Stereocaulon*- und *Racomitrium*-Arten.

Um die Problematik der zunehmenden Bewölkung für die Hocharktis zu untersuchen, wurde mit dem Einzugsgebiet »Eidembukta« ein Arbeitsgebiet gewählt, das für seine häufigen Nebel-, Wolken- und Regensituationen bekannt ist (STEFFENSEN 1982). Das dort entwickelte Tundraökosystem ist seit vielen Jahren jenen Bedingungen ausgesetzt (wenig Licht, viel Nieselregen, kurze Vegetationszeit), die bei einer regionalen Bewölkungszunahme auch für andere Gebiete der Arktis zu erwarten sind.



Abb. 1 Vegetationszonen auf Spitzbergen und Lage des Untersuchungsgebietes.

Fig. 1 Vegetation zones of Spitzbergen an location of the study area.

3.2 Vegetationskundliche Arbeiten

Zur Erfassung der Vegetation und ihrer Gliederung wurden 125 Bestandsaufnahmen nach der floristisch-soziologischen Methode nach BRAUN-BLANQUET (1964) angefertigt. Zusätzlich wurden alle Vegetationseinheiten des Untersuchungsgebietes mit Hilfe der synsoziologischen Arbeitsmethode (DIERSCHKE 1994) in 30 Transektflächen (5 000–10 000 m²) über die gesamte Untersuchungsfläche bewertet. So wie die einzelnen Pflanzenarten die Bestandteile einer Pflanzengesellschaft bilden, wird die Gesamtzahl aller Pflanzengesellschaften bei der synsoziologischen Arbeitsmethode zu sogenannten Vegetationskomplexen zusammengefaßt. Unter einem Vegetationskomplex ist also die Vergesellschaftung verschiedener Pflanzengesellschaften zu einem relativ einheitlichen Landschaftsteil zu verstehen. Innerhalb der Vegetationskomplexe wurden die Pflanzengesellschaften

nach dominierenden Standortfaktoren noch zu sogenannten Vegetationstypen geordnet, die eine homogene Struktur und eine fast einheitliche Synökologie aufweisen.

Um eine möglichst genaue Kenntnis über die Verbreitung der Vegetationseinheiten zu erhalten, wurde eine Vegetationskarte angefertigt, die sowohl auf konventionellen Geländekartierungen als auch auf der computergestützten Bearbeitung und Auswertung eines Farbinfrarot-Luftbildes basiert. Der Klassifizierung des Luftbildes mittels eines Maximum-Likelihood-Classifiers und der Überprüfung des Ergebnisses liegen 58 Trainingsgebiete zugrunde, die im Gelände wegen des Fehlens einer ausreichend großmaßstäbigen topographischen Karte mittels eines »Global Positioning Systems« exakt eingemessen wurden. Nach Abschluß sämtlicher Klassifizierungs- und Verifizierungsschritte lag die Anzahl falsch zugeordneter Pixel bei 6%. Für die hier vorliegende Vegetationskarte

wurden die Problembereiche der automatischen Klassifizierung unter Verwendung der konventionellen Kartierung manuell revidiert und die Pflanzengesellschaften – um drucktechnische Probleme zu umgehen – zu den zuvor genannten Vegetationstypen aggregiert (s. Abb. 2).

Die vorliegende Vegetationskarte und die dahinterstehende Karte der Pflanzengesellschaften enthalten somit eine maßstabsangepaßte, lagegetreue Wiedergabe der Vegetationseinheiten, mit der es möglich ist, punkthaft gewonnene Meßergebnisse mittels GIS-Techniken auf die Fläche des Untersuchungsgebietes zu extrapolieren.

3.3 Bestimmung der C-Speicher und C-Flüsse

Organische Substanz des Bodens

Pro Pflanzengesellschaft wurden drei bis vier Bodenprofile aufgenommen. Die C_{org} -Gehalte der verschiedenen Horizonte wurden mittels CHN-Elementaranalyse bestimmt. Für die Ermittlung der Lagerungsdichte wurden horizontweise Volumenproben entnommen. Der Skelettgehalt wurde für jeden Horizont geschätzt. Die Berechnung der Kohlenstoffgehalte für jede Vegetationsgesellschaft erfolgte unter Berücksichtigung der mittleren Lagerungsdichte und der mittleren Skelettgehalte.

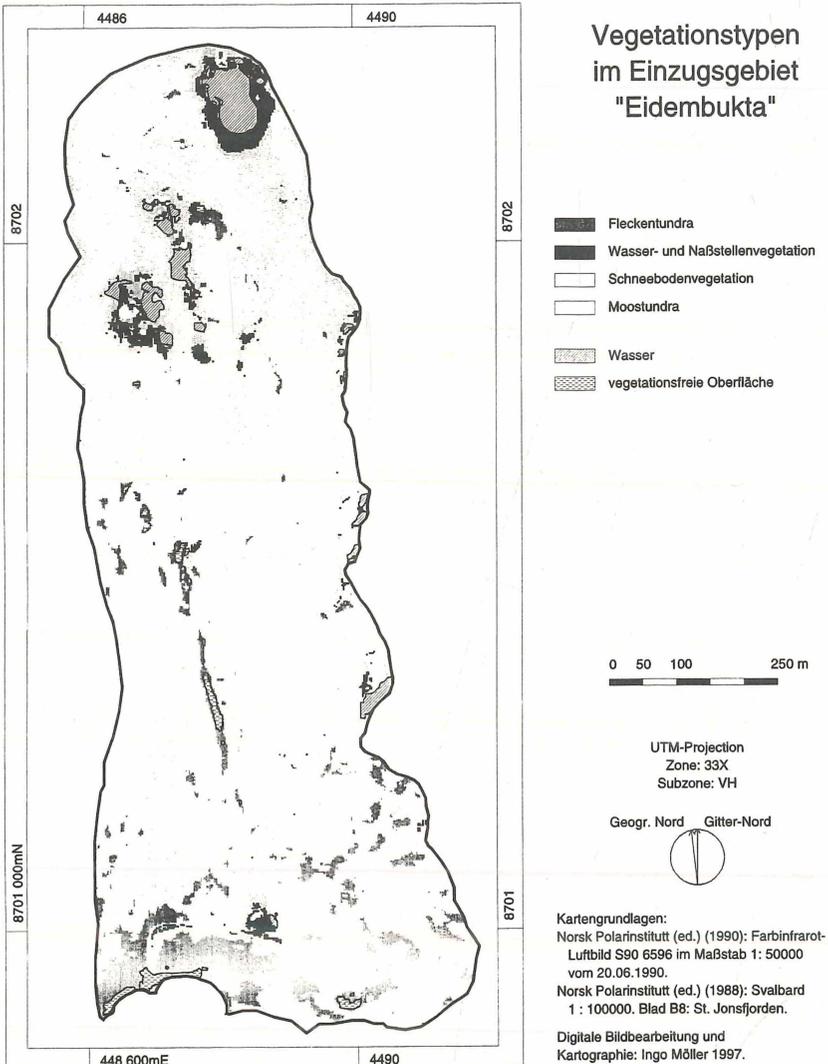


Abb. 2
Vegetationstypen im Einzugsgebiet Eidembukta.

Fig. 2
Vegetation types in the catchment area Eidembukta.

Kohlenstoffgehalt der Vegetation

Die ober- und unterirdische Phytomasse der Pflanzengesellschaften im Untersuchungsgebiet wurde nach der »Erntemethode« bestimmt (vgl. u.a. STEUBING & FANGMEIER 1992). Auf homogenen, repräsentativen Flächen wurden für die dominanten und für die charakteristischen Gesellschaften jeweils drei $\frac{1}{4}$ m² große Flächen abgestochen, im Feld vorsortiert und luftgetrocknet. Im Labor erfolgte anschließend die Reinigung der Proben, ihre Sortierung nach Pflanzenarten und letztlich ihre Trocknung über 10 Stunden bei 80°C. Für die Berechnung der Kohlenstoffgehalte wurde ein Anteil von 50% Kohlenstoff am gesamten Trockengewicht eingesetzt. Die Berechnung der flächenbezogenen Angaben erfolgte anhand der Arealfächen, die durch Kartierungen und die GIS-Analyse erarbeitet wurden.

CO₂-Flüsse

Zur Messung der CO₂-Flüsse diente eine mobile Gaswechselanlage, die auf einem großrädrigen Handwagen von Meßplatz zu Meßplatz transportiert wurde. Die Gaswechselanlage besteht aus einer Pumpe, einem Infrarot-Gasanalysator (IRGA), einem Schreiber, einer transparenten Meßkammer (35 x 35 x 10 cm), einer Referenzkammer, einem Taupunktsensor, einem Sensor für den photosynthetisch aktiven Quantenfluß (PPFD), Temperaturfühlern und einem Datalogger, sowie aus einer künstlichen Beleuchtungseinrichtung. Die ganze Anlage wird durch eine 12V-Bleibatterie betrieben, die über ein Solarpanel nachgeladen werden kann. Die CO₂-Flüsse werden differentiell im offenen Gaskreislauf gemessen. Die in der Großküvette resultierende Konzentrationsdifferenz wird mit dem IRGA gemessen und unter Berücksichtigung der Temperatur, der Luftfeuchtigkeit und des herrschenden Luftdrucks auf eine flächenbezogene Flußrate umgerechnet. Die Photosyntheserate (P) errechnet sich aus der Lichtmessung (Netto-Kohlenstofffluß = P+R) minus der Dunkelmessung (Respiration = R). R ist somit eine integrale Größe, die sich aus der Respiration der Mikroorganismen, der Bodenfauna, der Pflanzenwurzeln und der Dunkelatmung der oberirdischen Pflanzenteile zusammensetzt. Um Kammereffekte zu vermeiden, wurden die Flußraten aus dem Anstieg der CO₂-Konzentration pro Zeiteinheit nach zwei bis fünf Minuten Meßdauer mittels einer Differentialgleichung berechnet.

Hydrologischer Austrag von organischem Kohlenstoff (gelöst und partikulär)

Die Messung der Austräge an organischem Kohlenstoff (TOC) über den Vorfluter wurde durch mehrere Proben transekte am Anfang, in der Mitte und am Ende der Vegetationsperiode im Hauptbach des Einzugsgebietes bestimmt. Die Wasserproben wurden im Feld angesäuert und im Labor mittels eines TOC-Ana-

lyzers untersucht. Beim eingesetzten Verfahren wurde sowohl gelöster organischer Kohlenstoff (DOC) wie auch partikulärer organischer Kohlenstoff (POC) erfaßt. Zur Bestimmung des jährlichen Gebietsaustrages an TOC wurde der Abfluß indirekt mit der Wasserhaushaltsgleichung bestimmt.

4 Resultate

4.1 Vegetationseinheiten

Die Pflanzendecke auf der Küstenebene der Svartfjellstranda ist stark durch den maritimen Einfluß des Forlandsundet geprägt und hinterläßt beim Betrachter einen monotonen Eindruck. Das Kleinrelief, die edaphischen und die mikroklimatischen Faktoren differenzieren die unterschiedlichen Pflanzenkombinationen – und damit unterschiedlich starker Frostschutz und verschieden lange Aperizeiten – die größten Auswirkungen hinterlassen. Insgesamt wurden 22 Vegetationseinheiten (Assoziationen, Gesellschaften und Bestände), die sich zu fünf Vegetationstypen zusammenfassen lassen, ausgeschieden. Als Ergebnis der synsoziologischen Untersuchung ergeben sich zwei Vegetationskomplexe. Während im ersten Vegetationskomplex alle Phytozönosen der Vegetationstypen der Schneeböden sowie der Wasser- und Naßstellen vereint werden konnten, finden sich im zweiten Vegetationskomplex alle Gesellschaften der Moos-, Heide- und Fleckentundra (s. Tab. 1). Wie aus der Abb. 2 und der Tab. 1 ersichtlich ist, sind die Phytozönosen der Schneeböden und der Moostundra im Einzugsgebiet am weitesten verbreitet. Nur sie bilden eine größere, zusammenhängendere Vegetationsdecke aus. Alle anderen Gesellschaften treten hingegen meist kleinflächig auf. Eine eingehendere Charakterisierung der Vegetationsverhältnisse findet sich in MÖLLER & al. (1998).

4.2 Die Kohlenstoffreserven im Einzugsgebiet Eidembukta

4.2.1 Organischer Kohlenstoff im Boden

Die Gehalte an organischem Kohlenstoff liegen in den Auflagehorizonten zwischen 7–24%, bei einer Lagerungsdichte um 0,2 g cm⁻³. In den A-Horizonten mit einer Lagerungsdichte um 0,6 g cm⁻³ schwanken die C_{org}-Gehalte zwischen 3 und 8%. In den B- und Cv-Horizonten liegt immerhin noch etwa 1,5–3% Kohlenstoff, bei einer Lagerungsdichte um 0,9 g cm⁻³, vor. Bei relativ tiefgründigen Böden stellt also der Unterboden (B- und Cv-Horizonte) den Hauptpool für Kohlenstoff dar. Dieser enthält mehr als doppelt soviel Kohlenstoff wie die oberen Horizonte. Nur bei

Tab. 1

Vegetationskomplexe, -typen und Pflanzengesellschaften am Svartfjellstranda und im Einzugsgebiet an der Eidembukta (Forlandsundet, Westspitzbergen). * = nicht im Einzugsgebiet.

Table 1

Vegetation complexes, vegetation types and plant communities on Svartfjellstranda and in the drainage basin »Eidembukta« (Forlandsundet, W-Spitzbergen). * = not present in the drainage basin.

Vegetationseinheiten	Code	Ø Artenzahl	Dekung (%)	Fläche im EZG (%)
Vegetationskomplex der Schneeboden- und Naßstellenvegetation:				60,0
Schneebodenvegetation:				58,4
1. Cetraria delisei-Salix polaris-Ges., Stereocaulon-Ausb.	CSs	24	80-95	13,3
2. Cetraria delisei-Salix polaris-Ges., Typische Ausb.	CSt	25	75-95	5,4
3. Cetraria delisei-Gesellschaft, Typische Ausbildung	CDt	18	70-95	10,3
4. Cetraria delisei-Gesellschaft, Stereocaulon-Ausbildung	CDs	20	70-90	20,6
5. Cerastio regelii-Poetum alpinae	CP	16	35-40	6,2
6. Phippsia algida-Gesellschaft	PA	16	40-50	2,6
Wasser- und Naßstellenvegetation:				1,6
7. Bryum cryophilum-Gesellschaft	BC	8	65-80	1,6
8. Deschampsietum alpinae	DA	19	35-70	< 0,1
9. Arctophiletum fulvae	AF	4	50-70	---*
Vegetationskomplex der Moos-, Heide- und Fleckentundra:				37,8
Moostundravegetation:				31,1
10. Drepanocladus uncinatus-Salix polaris-Ges., Initialausb.	DSi	18	85-100	7,0
11. Drepanocladus uncinatus-Salix polaris-Ges., Typ. Ausb.	DSt	17	80-100	20,9
12. Racomitrium canescens-Gesellschaft	RC	23	95-100	0,6
13. Tomenthypnetum involuti	TI	19	100	2,6
14. Hylocomium splendens-Pleurozium schreberi-Bestand	HP	14	90	---*
15. Vegetation der Vogelrastplätze	SH	17	75-100	< 0,1
Zwergstrauchheide:				< 0,1
16. Dryas octopetala-Gesellschaft, Typische Ausbildung	DOt	21	75-90	< 0,1
17. Dryas octopetala-Gesellschaft, Stereocaulon-Ausbildung	DOs	19	75-90	< 0,1
Fleckentundravegetation:				6,7
18. Saxifraga oppositifolia-Salix polaris-Ges., Stereoc.-Ausb.	SSs	23	85-95	5,2
19. Saxifraga oppositifolia-Salix polaris-Ges., Typische Ausb.	SSt	23	80-95	< 0,1
20. Krustenflechten-Saxifraga oppositifolia-Gesellschaft	KS	17	60-70	1,5
21. Trisetum spicatum-Bestand	TS	20	60	< 0,1
22. Cochlearia groenlandica-Bestand	CG	14	45	---*
Andere:				2,2
23. Wasser				1,7
24. vegetationsfreie Oberflächen				0,5

extrem flachgründigen und skelettreichen Böden und bei Böden mit überdurchschnittlich mächtigen Auflagerhorizonten liefern die oberen Horizonte den Hauptpool für organischen Kohlenstoff (Abb. 3).

Umgerechnet auf die Fläche ergibt dies einen Kohlenstoffvorrat der Böden, der zwischen 0,5 und 7,7 kg C m⁻² schwankt. Unter Berücksichtigung der Flächenanteile der einzelnen Böden liegt der durchschnittliche Kohlenstoffgehalt der Böden im EZG bei 5,14 kg C^{org} m⁻² bzw. 51,4 t C^{org} ha⁻¹.

4.2.2 Organischer Kohlenstoff in der Phytomasse

Die höchste Phytomasse liegt in den *Vogelrastplätzen* (SH) vor und weist dort 3,18 kg m⁻² auf. Dies ist eine Folge der sehr starken, produktionsfördernden Düngung dieser Standorte durch eingetragenen Vogelkot. Die zweitgrößte Substanzproduktion liegt in der *Drepanocladus uncinatus-Salix polaris*-Moostundrageellschaft (DS) vor, wobei in dieser mit 1,5 kg m⁻² jedoch schon weniger als die Hälfte der Phytomasse

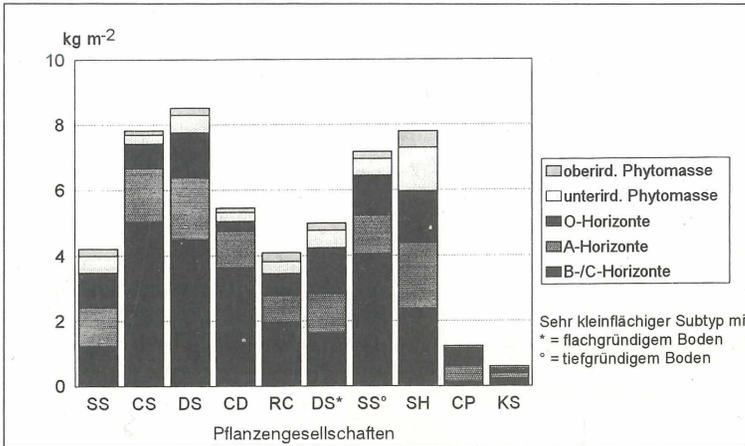


Abb. 3
Poolgrößen des Kohlenstoffs
im Einzugsgebiet Eidembukta.

Fig. 3
Carbon pools in the catchment
area Eidembukta.

der Vogelrastplätze vorhanden ist. Da auch die Moosgesellschaft von *Racomitrium canescens* (RC) noch eine durchschnittliche Phytomasse von 1,29 kg m⁻² besitzt, stellen die Moostundragesellschaften im Untersuchungsgebiet die Gesellschaften mit der im Mittel höchsten Phytomasse dar. Eine größere Schwankungsbreite in der Phytomasse liegt bei den Gesellschaften der Fleckentundra vor. Produziert die *Krustenflechten-Saxifraga oppositifolia*-Gesellschaft (KS) nur 0,36 kg m⁻² (nach GJESSING & ØVSTEDAL 1976), so sind es bei der die *Salix polaris*-Gesellschaft (SS) 1,46 kg m⁻². Hierbei erscheint es zunächst verwunderlich, daß letztere Gesellschaft damit sogar eine größere Phytomasse besitzt als die *Dryas octopetala*-Zwergstrauchheide (DO) mit 1,38 kg m⁻². Dies kann jedoch darauf zurückgeführt werden, daß die *Dryas octopetala*-Gesellschaft im Untersuchungsgebiet am Rande ihrer Existenzmöglichkeiten gedeiht und nur noch fragmentarisch ausgebildet ist. Die geringsten Phytomassenwerte liegen im Untersuchungsgebiet für die Schneebodengesellschaften vor. Entsprechend abnehmender Aperaturzeiten der Gesellschaften, verringert sich die Phytomasse von 0,82 kg m⁻² in der *Cetraria delisei*-*Salix polaris*-Gesellschaft (CS) auf nur 0,15 kg m⁻² im *Cerastio regellii-Poetum alpinæ* (CP).

Extrapoliert man nun die punkthaft gewonnenen Phytomassenwerte mittels der Vegetationskarte auf die Fläche des Einzugsgebietes, zeigt sich, daß auf einer Fläche von 58,45 ha lediglich 573,8 t Phytomasse vorhanden sind. Nach Abzug von Wasser- und nicht vegetationsbedeckten Flächen entspricht dies einer durchschnittlichen Phytomasse von rund 1 kg m⁻².

Die Kohlenstoffvorräte in der Phytomasse liegen zwischen 0,097 kg und 1,84 kg C m⁻². Die oberirdische Phytomasse ist dabei in den meisten Fällen deutlich kleiner als die unterirdische Phytomasse (meist Verhältnis von 1 : 1,9–2,5). Nur an den extremen Moosstandorten und an Pionierstandorten ist

das Verhältnis in Richtung oberirdischer Phytomasse verschoben (1 : 0,8–1,2). Die Vegetation trägt damit zwischen 5,2 und 23,6% zum Kohlenstoffpool des Ökosystems bei (Abb. 3).

4.3 Gasförmige C-Flüsse und C-Bilanz

Unter normalen Tageslichtbedingungen ist an der nebelreichen Westküste Spitzbergens mit photosynthetisch wirksamen Photonstromdichten (PPFD) zwischen 125–520 mmol m⁻² s⁻¹ zu rechnen. Die Mehrheit der Messungen zeigte bei diesen Lichtbedingungen eine CO₂-Abgabe an die Atmosphäre (Abb. 4). Außer der *Salix polaris*-*Saxifraga oppositifolia*-Gesellschaft (SS) zeigten nur die *Racomitrium canescens*-Gesellschaft (RC) und die *Cetraria delisei*-Gesellschaft (CD) unter den herrschenden Lichtbedingungen eine Speicherung von Kohlenstoff. Bei diesen Standorten war der Ökosystem-Lichtkompensationspunkt bei einer PPFD zwischen 260–340 mmol m⁻² s⁻¹ überschritten. Bei allen anderen Standorten sind höhere Lichtintensitäten notwendig, damit Kohlenstoff im Ökosystem gespeichert wird. Dies erstaunt besonders unter dem Aspekt, daß mit der gleichen Meßanordnung in subarktischen Moorökosystemen bereits bei einer PPFD von 106 mmol m⁻² s⁻¹ eine Kohlenstoffspeicherung festgestellt wurde (WÜTHRICH & al. 1997 a + b). Für die Hochrechnung der »nächtlichen« CO₂-Verluste wurden alle Testflächen bei einer PPFD von 100 mmol m⁻² s⁻¹ gemessen. Bei dieser Lichtintensität, die im Arbeitsgebiet für tiefen Sonnenstand und bewölkten Himmel typisch ist, zeigten alle Standorte eine negative Kohlenstoffbilanz (Abb. 5).

Wenn man den Kohlenstoffverlust des Arbeitsgebietes unter Bezug aller bearbeiteten Pflanzengesellschaften und ihrer Flächenanteile auf ein Jahr hochrechnet (60-tägige Vegetationsperiode, 8 Std.

Tageslichtbedingungen, 16 Std. mit PPFD von $100 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), ergibt sich ein jährlicher C-Verlust von 337 kg C ha^{-1} (entsprechend $33,7 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$). Diese Angaben müßten noch in Richtung einer stärkeren Kohlenstoffabgabe korrigiert werden, da die assimilierenden Pflanzen ihre Aktivitäten früher einstellen, als die im Boden zersetzungsaktiven Mikroorganismen (WÜTHRICH & al. 1994):

somit $6,16 \text{ kg TOC ha}^{-1}$. Im Vergleich zu den beschriebenen gasförmigen C-Flüssen im Ökosystem (337 kg C ha^{-1}) liefert der Stofffad über den Vorfluter weniger als 2% des Austrages. Selbst eine Verdopplung des TOC-Austrages nach einer Klimaveränderung würde demnach für die Kohlenstoffbilanz der hocharktischen Tundra – im Gegensatz zu den gasförmigen C-Austrägen – keine wesentlichen Änderungen bringen.

4.4 TOC-Austräge über den Vorfluter

Die Messung der TOC-Gehalte in verschiedenen Bachabschnitten im Einzugsgebiet ergab eine mittlere TOC-Fracht von 2 mg l^{-1} . Der Abfluß wurde unter Berücksichtigung der Verdunstung aus den vorhandenen klimatischen Daten errechnet. Der Abfluß geschieht ausschließlich während des Polarsommers. Damit ist eine Abschätzung der jährlichen C-Austräge über den Vorfluter möglich. Pro Jahr verlassen maximal $360 \text{ kg Kohlenstoff}$ als TOC das Einzugsgebiet über den Vorfluter. Die Austragsrate beträgt

4.5 Skizzierung der Auswirkungen einer verstärkter Bewölkung auf die Vegetation und ihre Phytomasse

Vor dem Hintergrund einer Klimaänderung und der damit erwarteten Bewölkungszunahme während der Vegetationsperiode in der Arktis käme es im Untersuchungsgebiet zu einer längeren Schneebedeckung, größeren Wasser- und Naßstellen, einer größeren Bodenfeuchtigkeit und zu einem verstärkten oberflächlichen Wasserabfluß. Entsprechend dieser Rahmenbe-

Abb. 4
Netto-Kohlenstoffbilanz unter natürlichen Lichtbedingungen (PPFD 340).

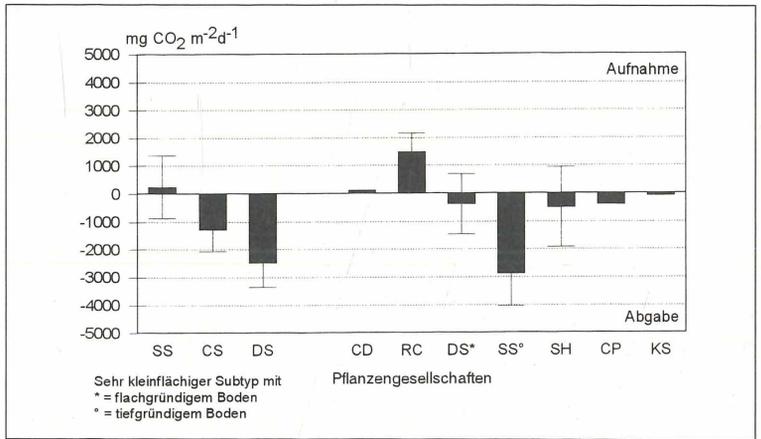


Fig. 4
Net Carbon-flux under natural light (PPFD 340).

Abb. 5
Netto-Kohlenstoffbilanz unter definierten Schwachlichtbedingungen (PPFD 100).

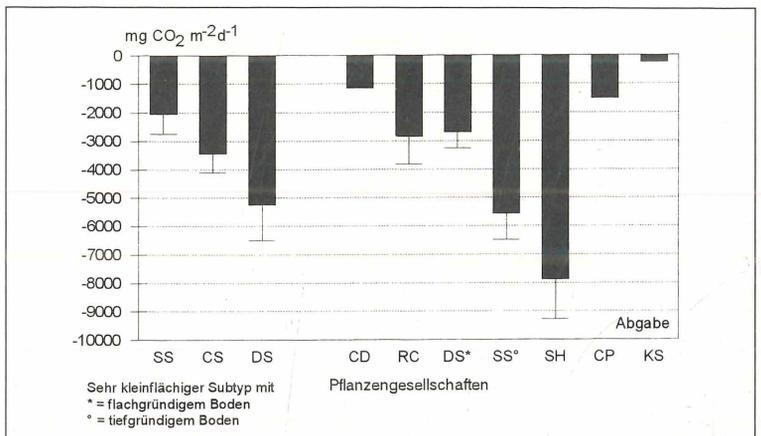


Fig. 5
Net Carbon-flux under constant conditions with low light (PPFD 100).

dingungen würden sich im Einzugsgebiet Eidembukta die Schneeboden- und die Moostundravegetation wenig, die Wasser- und Naßstellenvegetation dagegen stärker ausbreiten. Die Ausbreitung dieser Gesellschaften führt dabei zu einer Zurückdrängung bzw. Verdrängung der Fleckentundra- und Zwergstrauchgesellschaften.

Die hieraus resultierenden Veränderungen bezüglich Phytomasse, organischer Substanz des Bodens und Kohlenstoffbilanz des Einzugsgebietes werden in Fortführung der bisherigen Analysen mittels einer GIS-Analyse noch quantitativ zu dokumentieren sein.

5 Zusammenfassung und Fazit

Der durchschnittliche Kohlenstoffgehalt im Arbeitsgebiet Eidembukta beträgt etwa $6,0 \text{ kg C m}^{-2}$. Davon stecken je nach Vegetation und Boden zwischen 5% und 23% in der Vegetation, wobei das Verhältnis oberirdisch zu unterirdisch meist bei 1 : 2 liegt. Die tiefgründigeren Böden der hocharktischen Tundra stellen mit ihren in die B- und Cv-Horizonte eingewürgelten Humuslinsen (Kryoturbandation und Solifluktion) die dominierenden Kohlenstoffspeicher im hocharktischen Küstenökosystem dar.

Im Sommer 1996 führte das regnerische Wetter mit ständiger Bewölkung im Untersuchungsgebiet zu einer starken Reduktion der Kohlenstoffassimilation bei den Pflanzen. In den Nachtstunden verloren trotz Mitternachtssonne sämtliche Standorte durch Respiration erhebliche Mengen Kohlenstoff an die Atmosphäre. Selbst um die Mittagszeit, wenn der höchste Sonnenstand für einigermaßen gute Lichtbedingungen sorgte, waren nur wenige Pflanzengesellschaften in der Lage, mehr Kohlendioxid durch Photosynthese festzulegen, als gleichzeitig durch Respiration freigesetzt wurde. Der flächenhafte Kohlenstoffaustausch im Einzugsgebiet wird in einem derart naßkalten Sommer auf rund 343 kg C ha^{-1} geschätzt, wobei davon nur gerade 6 kg C ha^{-1} als TOC über den Vorfluter das System verlassen.

Das Einzugsgebiet an der Eidembukta stellt gemäß der Untersuchungsergebnisse also bereits heute eine Kohlenstoffquelle dar. Die Ergebnisse stützen damit jüngere Untersuchungen (u.a. OECHEL & al. 1993, WÜTHRICH & al. 1994), die zeigen, daß die arktischen Tundren nicht pauschal als Kohlenstoffsenken angesehen werden dürfen. Vielmehr fungieren bereits heute Teilbereiche der Tundren als C-Quellen oder befinden sich im dynamischen Gleichgewicht; und es ist zu erwarten, daß in einem Klima mit verstärkter Bewölkung vermehrt Bereiche zu C-Quellen werden. Der Verlust organischen Materials in den Speichern Boden und Vegetation wird die Lebensbedingungen für Pflanzen und Tiere der betroffenen hocharktischen Gebiete verschlechtern.

Um für das Untersuchungsgebiet einen Bezug zwischen den geschätzten Austrägen und dem vorhandenen Kohlenstoffspeicher in Boden und Vegetation herzustellen, kann eine grobe Berechnung (unter der sehr stark vereinfachenden Annahme eines linear verlaufenden Abbaus der Kohlenstoffspeicher) aufzeigen, daß es unter den genannten Witterungsbedingungen je nach Bodentyp und Pflanzengesellschaft zwischen 55 und 350 Jahre dauern würde, bis der gesamte Kohlenstoffvorrat der Böden remineralisiert wäre.

Literatur

- BRAUN-BLANQUET, J., 1964: Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde. – 3. Aufl., Springer-Verl., Wien u.a.: 865 S.
- DIERSCHKE, H., 1994: Pflanzensoziologie. – Ulmer-Verl., Stuttgart: 683 S.
- ELVEBAKK, A. & S. SPJELKAVIK, 1995: The ecology and distribution of *Empetrum nigrum* ssp. hermaphroditum on Svalbard. – Nord. J. Bot. 15 (5): 541–552.
- GJESSING, Y.T. & D.O. ØVSTEDAL, 1976: Energy budget and ecology of two vegetation types in Svalbard. – Astarte 8 (2): 83–92.
- HISDAL, V., 1985: Geography of Svalbard. Norsk Polarinstitut, Oslo: 75 S.
- KIVINEN, E. & P. PAKARINEN, 1981: Geographical distribution of peat resources and major peatland complex types in the world. – Ann. Acad. Sci. Fennicae, AIII (132): 1–28.
- MANABE, S. & R.T. WETHERALD, 1980: On the distribution of climate change resulting from an increase in CO₂ content of the atmosphere. – J. Atm. Sci. 37: 99–118.
- MAXWELL, B., 1992: Arctic climate: potential for change under global warming. In: F.S. CHAPIN III & al. (eds.): Arctic ecosystems in a changing climate: an ecophysiological perspective. – Acad. Press, San Diego: 11–34.
- MÖLLER, I., D. THANNHEISER & C. WÜTHRICH, 1998: Eine pflanzensoziologische und vegetationsökologische Fallstudie in Westspitzbergen. – Geoökodynamik 19 (1/2): 1–18.
- OECHEL, W.C., S.J. HASTINGS, G. VOURLITIS, M. JENKINS, G. RIECHERS & N. GRULKE, 1993: Recent change of Arctic Tundra ecosystems from a net carbon dioxide sink to a source. – Nature 361: 520–523.
- RØNNING, O.I., 1979: Svalbards flora. – Norsk Polarinst. Polarbok, Oslo: 128 S.
- SKYE, E., 1989: Changes to the climate and flora of Hopen island during the last 100 years. – Arctic 42: 323–332.

- STEFFENSEN, E.L., 1982: The climate at Norwegian Arctic Stations. – Klima, Oslo: 44 S.
- STEBLING, L. & A. FANGMEIER, 1992: Pflanzen-ökologisches Praktikum. – Ulmer-Verl., Stuttgart: 131–132.
- THANNHEISER, D., 1994: Vegetationsgeographisch-synzoologische Untersuchungen am Liefdefjord (NW-Spitzbergen). – Z. Geomorph. N.F., Suppl. 97: 205–214.
- THANNHEISER, D., 1996: Spitzbergen. – Geogr. Rundschau 48 (5): 268–274.
- TIESZEN, L.L., 1973: Photosynthesis and respiration in Arctic tundra grasses field light intensity and temperature responses. – Arctic Alp. Res. 5 (3): 239–251.
- WÜTHRICH, C., 1991: Landschaftsökologische Umweltforschung: Beiträge zu den Wechselwirkungen zwischen biotischen und abiotischen Faktoren im hocharktischen Ökosystem Spitzbergen. – Die Erde 122: 335–352.
- WÜTHRICH, C., 1994: Die biologische Aktivität arktischer Böden mit spezieller Berücksichtigung ornithogen eutrophierter Gebiete (Spitzbergen und Finnmark). – Physiogeographica 17: 1–222.
- WÜTHRICH, C., C. DÖBELI, D. SCHAUB & H. LESER, 1994: The pattern of carbon-mineralisation in the high-Arctic tundra (Western and Northern Spitsbergen) as an expression of landscape ecologic environment heterogeneity. – Z. Geomorph. N.F., Suppl. 97: 251–264.
- WÜTHRICH, C. & D. SCHAUB, 1997a: Reaktionspotential unterschiedlicher Moortypen für Änderungen von Licht und Bodenwasserhaushalt.–Bulletin BGS 21: 41–48.
- WÜTHRICH, C., J. NILSEN & D. SCHAUB, 1997b: Effects of increased cloudiness and water table changes on carbon balance in Arctic peatlands. – Ann. Geophysicae, Suppl. 15: 357.

Adressen

Prof. Dr. Dietbert Thannheiser
Dipl.-Geogr. Ingo Möller
Institut für Geographie, Universität Hamburg
Bundesstr. 55, D-20146 Hamburg.
e-mail: moeller.ingo@atlantis.geowiss.uni-hamburg.de

Dr. Christoph Wüthrich
Departement für Geographie
Universität Basel
Spalenring 145
CH-4055 Basel

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie](#)

Jahr/Year: 1997

Band/Volume: [28_1997](#)

Autor(en)/Author(s): Thannheiser Dietbert, Möller Ingo, Wüthrich Christoph

Artikel/Article: [Eine Fallstudie über die Vegetationsverhältnisse, den Kohlenstoffhaushalt und mögliche Auswirkungen klimatischer Veränderungen in Westspitzbergen 475-484](#)