

DER EINFLUSS ORGANISCHER UND MINERALISCHER DÜNGER AUF DIE BODENFAUNA EINER PLANIERTEN, BEGRÜNTE SCHIPISTE OBERHALB DER WALDGRENZE

The influence of organic and mineral fertilizers on the soil fauna of a levelled, revegetated ski slope above the timberline

G. LÜFTENEGER, W. FOISSNER u. H. ADAM

Zusammenfassung

Es wurden die Auswirkungen von Begrünungsmaßnahmen mit zwei organischen Düngern, Biosol (B; getrocknetes Pilzmycel) und ARA (A; getrocknete bakterielle Biomasse), und einem mineralischen Volldünger auf die Struktur der Ciliaten-, Testaceen-, Rotatorien- und Nematodengemeinschaft einer planierten Schipiste in 2800 m NN studiert. Alle drei Dünger führen in den angewandten Mengen hierbei zu einer signifikanten Steigerung des Bodenlebens gegenüber den ungedüngten Kontroll-Parzellen. Die organischen Dünger bewirken einen signifikant höheren Anstieg diverser bodenzoologischer Parameter als der Mineraldünger. Mögliche Ursachen dafür sind der signifikant höhere Gehalt an organischer Substanz in den Flächen (B) und (A) und die von INSAM und HASELWANDTER (1985) festgestellten höheren mikrobiellen Biomassen dieser Flächen. Die Gemeinschaftsstrukturen der Ciliaten und die Abundanzen der Testaceen weisen darauf hin, daß die Bodenfauna der planierten Flächen trotz 3-jähriger Rekultivierung noch weit von den natürlichen Verhältnissen entfernt ist. Es ist jedoch besonders in den organisch gedüngten Flächen ein Trend in diese Richtung zu verzeichnen.

Einführung

Hochgebirge sind extreme Lebensräume, die an die Existenzgrenze des Lebens heran oder über sie hinaus reichen (FRANZ 1979). Die Biozönosen des Hochgebirges sind daher artenärmer und labiler als jene in Tallagen. Im gesamten Gebiet der West- und Ostalpen wird eine Fläche von ca. 70 000 ha als Schipiste genutzt. Davon wurden etwa 20 000 ha durch Geländekorrekturen künstlich angelegt (NASCHBERGER u. KÖCK 1983). Die damit verbundenen Eingriffe in das natürliche Bodengefüge ziehen schwerwiegende Störungen — wie z. B. Bodenerosion — nach sich, die nur durch Rekultivierung der planierten Flächen hintanzuhalten sind (STÖHR 1983; INSAM u. HASELWANDTER 1985; SCHÖNTHALER 1985).

Bei Untersuchungen über die Auswirkungen verschiedener Begrünungsmaßnahmen auf den Pflanzenwuchs und einige mikrobielle Parameter waren organische Dünger den mineralischen überlegen (KÖCK u. HOLAUS 1981; NASCHBERGER u. KÖCK 1983; BADAWY u. SCHÖNTHALER 1983; INSAM u. HASELWANDTER 1985). In der vorliegenden Studie sollte geprüft werden, ob dies auch von bodenzoologischer Seite zu verifizieren ist. Innerhalb der ausgewählten Indikatorgruppen (Protozoen, Rotatorien, Nematoden) nehmen die Bodenprotozoen eine besondere Stellung ein, da sie in extremen Hochgebirgsböden etwa ein Drittel der tierischen „standing crop“ repräsentieren (FOISSNER 1985).

Material und Methoden

1. Geologischer Überblick

Das Untersuchungsgebiet liegt in den westlichen Tiroler Zentralalpen (Obergurgl, Festkogel) in einer Höhe von 2800 m NN. Grundgesteine sind Schiefergneise (Biotitplagioklasgneise) und Glimmerschiefer (PIRKL 1980). Das innere Ötztal besitzt ein ausgeprägtes Trockenklima mit einer jährlichen Niederschlags-

Summary

A study was made of the effects of revegetation with two organic fertilizers, Biosol (B; dried fungal mycelium) and ARA (A; dried bacterial biomass), and one mineral fertilizer, on the structure of the ciliate, testacean, rotatorian and nematode communities of a levelled ski slope 2800 m above sea level. The applied quantities of the three fertilizers gave a significant increase in the soil fauna as compared with the unfertilized control plots. The organic fertilizers caused a significantly higher increase of diverse pedozoological parameters than the mineral fertilizer. This is probably due to the significantly higher content of organic matter in the (B) and (A) plots and the increased microbial biomass reported by INSAM and HASELWANDTER (1985) for these plots. The community structures of the ciliates and the abundance of the testaceans suggest that despite 3 years of recultivation the soil fauna in the levelled ski slope was still far from natural, though there was a trend in this direction, particularly in the organically fertilized plots.

menge von 830 mm und einer Jahresmitteltemperatur von 2,2 °C (LAMINGER 1972).

2. Dünger und Begrünungsverfahren

Biosol: getrocknetes, granuliertes Pilzmycel, 150 g/m². Hersteller Fa. Biochemie GesmbH, A-6250 Kundl, Österreich.

ARA: getrocknete, bakterielle Biomasse, 150 g/m². Hersteller: Fa. Biochemie GesmbH, A-6250 Kundl, Österreich.

Mineralischer Volldünger: Blaukorn Compo, 30 g/m².

Angaben über die Nährstoffgehalte der Dünger finden sich bei INSAM und HASELWANDTER (1985).

Die Begrünung erfolgte mittels Strohecksaat nach SCHIECHTL (1973).

3. Versuchsflächen

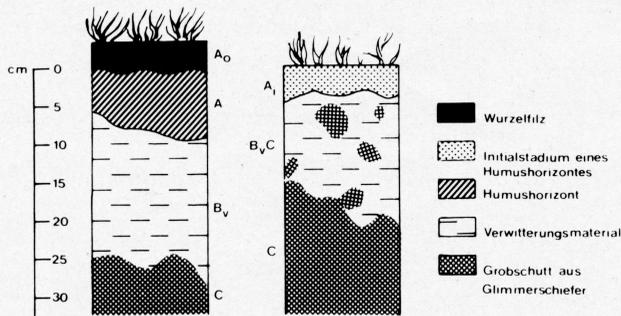
a) Naturbelassene alpine Rasenbraunerde (N), unmittelbar neben der planierten Fläche (Darst. 1).

b) Planierter Rohboden, Skelettanteil 50 %, organische Substanz ca. 4 %, Exposition W, Neigung 55 %, geographische Lage 10°57' O, 46°57' N, 2800 m NN (Darst. 1).

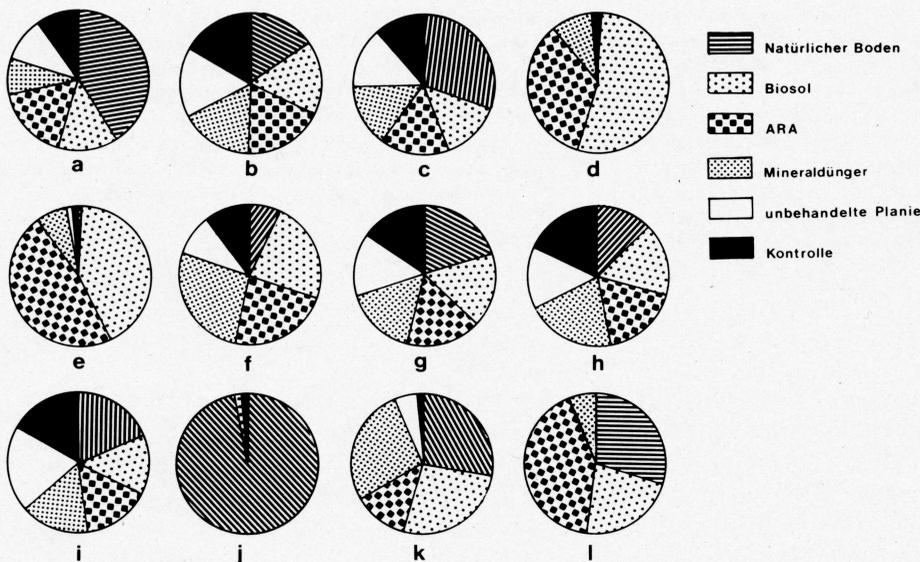
4 Versuchsflächen: Biosol (B), ARA (A), Mineraldünger (M), Planie ohne Dünger und ohne Stroh-Bitumen-Schicht (P), Kontrolle (K; nur Stroh-Bitumen-Schicht, kein Dünger, angelegt 1985). Die Anlage der Flächen erfolgte am 15. 7. 1982 durch N. BADAWY, Wien (= Obergurgl II). Nachdüngungen wurden jährlich mit gleichbleibenden Düngermengen im Juli durchgeführt.

4. Probenahme und Auswertung

Die Probenahmen erfolgten im September 1985. Pro Versuchsfläche wurden 10 Teilproben (5 x 5 cm) aus dem Oberboden (0 — 3/5 cm) entnommen und vermischelt. Zur Bestimmung der Abundanzen der aktiven Ciliaten, Rotatorien und Nematoden wurde



Darst. 1: Schematische Darstellung des Profils des natürlichen Bodens (a) und einer planierten Schipiste (b)
Schematic representation of the profile of (a) the natural soil and (b) the levelled ski slope



Darst. 2: Arithmetische Mittel (n = 5, bzw. n = 11 bei K) einiger abiotischer und biotischer Parameter der Versuchspartellen. a: organische Substanz; b: pH; c: Bodenwasser; d: Abundanz der Ciliaten; e: Biomasse der Ciliaten; f: Artenzahl der Ciliaten nach direkter Zählung; g: Artenzahl der Ciliaten nach einer Kulturmethode; h, i: Diversität und Evenness der Ciliaten-Gemeinschaft; j: Abundanz der Testaceen; k: Abundanz der Rotatorien; l: Abundanz der Nematoden

Arithmetic means (n = 5, resp. n = 11 in the control, K) of some abiotic and biotic parameters of the experimental plots. a: organic matter; b: pH; c: water content; d: abundance of ciliates; e: biomass of ciliates; f: species number of ciliates based on direct counting; g: species number of ciliates based on a culture method; h, i: diversity and evenness of the ciliate community; j: abundance of testaceans; k: abundance of rotators; l: abundance of nematodes

jeweils 1 g Frischgewicht dieser Mischprobe in einer Bodensuspension ausgezählt. Für die Suspension wurde eine Bodenlösung verwendet, die aus dem untersuchten Boden bereitet wurde (250 g Boden auf 1 l Wasser, kochen, filtrieren, sterilisieren). Die Abundanzen und Artenzahlen der Testaceen wurden in 0,1 g Boden Frischgewicht ausgezählt. Die Unterscheidung belebter und unbelebter Gehäuse wurde mittels Anilinblaufärbung vorgenommen. Die Feststellung der Artenzahl der Ciliaten erfolgte auch mit einer Kulturmethode (FOISSNER 1985, 1986). Jede Versuchsfläche wurde 5mal beprobt. Alle Werte sind der besseren Vergleichbarkeit wegen auf 1 g Trockenmasse des luftgetrockneten Bodens umgerechnet.

5. Statistische Analyse

Folgende Indices wurden zum Vergleich der Gemeinschaftsstrukturen verwendet:

Artenidentität (JACCARD 1902); *Dominanzidentität* (RENKONEN 1938); *Arten-Abundanz Index* (BRAY u. CURTIS 1957); *Diversität und Evenness* (PIELOU 1966).

Die Daten wurden mit dem parameterfreien U-Test von Wilcoxon, Mann und Whitney (SACHS 1984) mittels eines VAX 750-Computers (Fa. DEC) unter Verwendung des Minitab-Programmes (Minitab, Inc., 215 Pond Laboratory, University Park, PA 16802) ausgewertet.

Ergebnisse

1. Abiotische Faktoren

Der natürliche Boden (N) innerhalb der Versuchsreihe hat einen durchschnittlichen organischen Anteil von 14,8 %. Im gestörten Boden wird die organische Substanz durch die Rekultivierungsmaßnahmen gesteigert, wobei die mit ARA gedüngte Parzelle (A) den höchsten Wert aufweist (5,1 %), die unbehandelte Planie (P) dagegen den niedrigsten (3,5 %) (Tab. 1; Darst. 2a). Innerhalb der Düngergruppe ist die organische Substanz nur in (A) signifikant höher als in (M). Im Gegensatz zu (A) und (B) ist der organische Anteil in (M) nicht signifikant höher als in (P) und (K).

Die pH-Werte der planierten Versuchsflächen sind signifikant höher als der pH-Wert des ungestörten Bodens (N). Den höchsten Wert innerhalb der Behandlungsgruppe zeigt (A), wobei es aber keinen signifikanten Unterschied zu (B) gibt. Beide organischen Dünger bewirken signifikant höhere pH-Werte als der Mineraldünger (Tab. 1; Darst. 2b). Den niedrigsten Wert innerhalb der Versuchsflächen hat (P).

Bedingt durch den höheren Gehalt an organischer Substanz hat die Fläche (N) auch den größten Wassergehalt (24 %), gefolgt von (A) mit 12,5 %, (M) mit 11,4 %, (B) mit 10,7 % und (P) mit 10,2 %. Die Werte dieser Behandlungsgruppe unterscheiden sich

Tab. 1: Effekt von Biosol (B; organischer Dünger), ARA (A; organischer Dünger) und Mineraldünger (M) auf verschiedene Bodenparameter und Gemeinschaftsstrukturen der Bodentiere im Vergleich zu ungestörtem Boden (N), unbegrünter und ungedüngter Planie (P) und Kontrolle (K; begrünte, aber ungedüngte Planie)

Effects of Biosol (B; organic fertilizer), ARA (A; organic fertilizer) and mineral fertilizer (M) on soil and animal community parameters in comparison with undisturbed soil (N), non-revegetated and unfertilized plots (P) and control plots on revegetated but unfertilized ski slope (K)

Parameter	Behandlung (x) ¹					
	N	B	A	M	P	K
Glühverlust bei ca. 650 °C (%)	14,8 ^B BAMPK ²	4,8 ^N NPK	5,1 ^N NMPK	4,0 ^{NA}	3,5 ^N NBA	3,7 ^N NBA
SD ³	(1,2)	(0,8)	(0,5)	(0,4)	(0,4)	(0,7)
pH (H ₂ O)	4,9 ^B BAMPK	5,5 ^N NMP	5,7 ^N NMPK	5,3 ^N NBAK	5,1 ^{BAK}	5,5 ^N NAMP
	(0,1)	(0,2)	(0,1)	(0,1)	(0,3)	(0,1)
Bodenwasser (Lufttrocknung) (%)	23,9 ^B BAMPK	10,7 ^N	12,4 ^N NK	11,4 ^N NK	10,2 ^N	9,1 ^N
	(8,1)	(2,2)	(3,6)	(0,8)	(2,9)	(1,1)
CILIATEN						
Individuen g ⁻¹ TM ⁴	2,4 ^B BAM	331,7 ^N NMPK	225,5 ^N NMPK	56,8 ^N NBAPK	3,1 ^B BAM	4,7 ^B BAM
	(3,1)	(189,8)	(175,3)	(32,8)	(2,5)	(4,2)
Biomasse in µg g ⁻¹ TM	0,1 ^B BAM	15,9 ^N NM [•] PK	18,1 ^N NM [•] PK	3,3 ^N NB [•] A [•] PK	0,2 ^B BAM	0,1 ^B BAM
	(0,1)	(10,8)	(24,2)	(2,8)	(0,2)	(0,2)
Durchschnittl. Artenzahl (DM) ⁵	1,2 ^B BAM	13,2 ^N NPK	11,2 ^N NPK	9,6 ^N NPK	2,0 ^B BAM	2,3 ^B BAM
	(1,1)	(2,4)	(1,9)	(4,2)	(1,4)	(1,7)
Durchschnittl. Artenzahl (KM) ⁵	26,4 ^{PK}	26,0 ^{PK}	25,6 ^{PK}	24,4 ^{PK}	12,6 ^N NBA [•] M [•]	12,6 ^N NBAM
	(2,6)	(2,1)	(1,8)	(4,6)	(7,7)	(6,2)
Artenzahl total (DM)	5	18	17	21	7	9
Artenzahl total (KM)	44	36	35	34	31	29
Diversität	1,5	2,0	2,2	2,5	1,9	1,8
Eveness	0,9	0,7	0,8	0,8	1,0	0,8
TESTACEEN⁶						
Individuen g ⁻¹ TM	540,0	8,8	1,1	1,1	0	0
	(268,9)	(2,4)	(2,5)	(2,5)	—	—
Durchschnittl. Artenzahl (b) ⁷	15,4	0,4	0,2	0,2	0	0
	(2,3)	(0,5)	(0,4)	(0,4)	—	—
Artenzahl total (b)	23	2	1	1	0	0
Artenzahl total (b & u) ⁷	27	2	1	2	0	0
ROTATORIA Individuen g⁻¹TM						
	37,3 ^A PK	35,7 ^{PK}	16,7 ^N NK	36,2 ^{PK}	6,8 ^N NBMK	1,0 ^N NBAMP
	(14,9)	(37,9)	(18,4)	(38,5)	(4,9)	(1,7)
NEMATODA Individuen g⁻¹TM						
	169,7 ^M PK	141,2 ^M PK	263,8 ^M PK	49,7 ^N N [•] B [•] A [•] PK	0 ^N NBAM	0,1 ^N NBAM
	(54,1)	(129,9)	(282,5)	(85,0)	—	(0,3)

¹ \bar{x} = Arithmetisches Mittel; n = 5 bzw. n = 11 bei K

² Die Buchstaben bezeichnen jene Bodenproben, zu denen ein signifikanter Unterschied besteht ($P \leq 0,05$; * $P \leq 0,1$)

³ SD = Standardabweichung

⁴ TM = Trockenmasse

⁵ DM, KM = Direkte Zählung bzw. Kulturmethode

⁶ Bei den Testaceen wurde auf eine statistische Analyse verzichtet, da der Unterschied zwischen (N) und den Versuchsflächen keiner Statistik bedarf und innerhalb der Versuchsflächen zu wenig Individuen für eine vernünftige Auswertung gefunden wurden

⁷ b, b & u = nur belebte bzw. belebte und unbelebte Schalen berücksichtigt

jedoch nicht signifikant voneinander. Die Kontrolle (K) weist den niedrigsten Wert auf (9,1 %) und unterscheidet sich damit signifikant von den anderen Flächen außer (B) und (P) (Tab. 1; Darst. 2c).

2. Ciliaten

Alle drei Dünger bewirken einen starken (signifikanten) Anstieg der Anzahl aktiver Ciliaten, ihrer Biomasse und Artenzahlen (Tab. 1; Darst. 2d-f). Innerhalb der Düngergruppe haben die zwei organisch gedüngten Flächen (B, A) signifikant höhere Abundanz- und Biomassewerte als (M). Für den etwas höheren Biomassewert in (A) ist die Dominanz der relativ großen *Keropsis muscicola* verantwortlich (Tab. 2).

In den ungedüngten Flächen (P) und (K) findet man nur sehr niedrige Abundanzen und Artenzahlen (Tab. 1; Darst. 2d, f), was sicher eine Folge des zu geringen Nährstoffangebotes ist. Die geringe Anzahl aktiver Ciliaten und die sehr niedrige Artenzahl im natürlichen Boden (N) (Tab. 1; Darst. 2d, f) können am ehesten durch die Wirkung der Ciliatostasis, die in evolvierten Böden für die Hemmung der Ciliaten verantwortlich ist, erklärt werden (FOISSNER 1986; LÜFTENEGGER et al. 1987). Diese Annahme wird durch die mit einer Kulturmethode, die zur

Reduktion der Ciliatostasis führt, ermittelten totalen Artenzahlen bestärkt: hier weist (N) den höchsten Wert aller Versuchsflächen auf, gefolgt von (B), (A), (M), (P) und (K). Die Unterschiede innerhalb der Gruppe (B, A, M, P, K) sind sehr gering und nicht signifikant (Tab. 1). Nur die durchschnittlichen Artenzahlen (KM) sind in den gedüngten Flächen und in (N) signifikant höher als in den ungedüngten Parzellen (Tab. 1).

Etwa die Hälfte der gefundenen Arten gehört zu den Colpodea (Tab. 2). Die Dominanz dieser Gruppe ist kennzeichnend für alpine Böden und extreme Standorte. Zu deren Besiedlung befähigt sie ihre r-selektierte Überlebensstrategie (FOISSNER et al. 1982; LÜFTENEGGER et al. 1985).

Innerhalb der gedüngten Flächen hat (B) die niedrigsten Werte für Diversität und Eveness. Dafür ist die hohe Individuendominanz von *Colpoda fastigata* (32,5 %) verantwortlich. Der signifikant höhere Diversitätsindex (t-Test nach MÜHLENBERG 1976) in (M) wird durch die gleichmäßigere Verteilung der Individuen (Eveness 0,8) auf die vorhandenen Arten dieser Parzelle verursacht (Tab. 1; Darst. 2h, i).

Die 6 Taxotope trennen sich nach Arten-, Dominanz- und Arten-Abundanzidentität in die Gruppen (B, A, M) und (N, P, K) auf

ARTEN	INDIVIDUENDOMINANZ (%)					
	N	B	A	M	P	K
<i>Colpoda cucullus</i> MÜLLER	-	1,8	-	0,4	-	-
<i>Colpoda fastigata</i> KAHL	-	<u>32,5</u>	12,0	6,9	-	2,1
<i>Colpoda inflata</i> (STOKES)	-	19,5	13,8	16,1	14,3	4,3
<i>Colpoda</i> sp.	11,1	-	-	-	-	14,9
<i>Cyclidium muscicola</i> KAHL	-	0,7	3,8	2,4	-	2,1
<i>Cyrtolophosis acuta</i> KAHL	-	0,1	-	0,4	-	-
<i>Cyrtolophosis elongata</i> SCHEWIAKOFF	-	-	0,1	1,6	-	-
<i>Keronopsis muscicola</i> (KAHL)	11,1	12,1	<u>29,3</u>	20,2	21,4	8,5
<i>Lamostyla edaphoni</i> BERGER & FOISSNER	-	-	-	-	14,3	-
<i>Lamostyla perisincirra</i> (HEMBERGER)	-	3,1	1,7	4,0	-	-
<i>Leptopharynx costatus</i> MERMOD	-	-	0,2	-	-	-
<i>Myctotherix</i> (?) sp.	-	<u>17,5</u>	0,8	3,6	-	-
<i>Nivaliella plana</i> FOISSNER	-	1,6	1,6	4,4	-	4,3
<i>Opercularia arboricolum</i> (BIEGEL)	-	1,8	<u>14,0</u>	0,4	-	-
<i>Paracolpoda steinii</i> (MAUPAS)	-	1,8	2,5	0,8	-	-
<i>Platyophrya macrostoma</i> FOISSNER	-	1,2	1,7	5,2	-	-
<i>Platyophrya vorax</i> KAHL	-	1,1	4,2	<u>10,9</u>	14,3	12,8
<i>Pseudochilonopsis mutabilis</i> FOISSNER	33,3	2,1	<u>10,3</u>	4,8	21,4	36,2
<i>Pseudocyrtolophosis alpestris</i> FOISSNER	-	0,1	0,1	2,0	-	-
<i>Pseudoplatyophrya nana</i> (KAHL)	33,3	2,4	3,4	<u>10,5</u>	-	14,9
<i>Pseudoplatyophrya terricola</i> FOISSNER	-	0,5	-	2,4	-	-
<i>Spathidium spathula</i> (MÜLLER)	-	-	-	1,2	-	-
unbestimmte Hypotrachen-Art	-	0,1	0,2	1,2	7,1	-
3 unbestimmte Arten	11,1	-	-	0,4	7,1	-

Tab. 2: Artenspektrum und Individuendominanz der aktiven Ciliaten in den Versuchsflächen. N = natürlicher Boden; B = Biosol (organischer Dünger); A = ARA (organischer Dünger); M = Mineraldünger; P = unbegrünte Planie; K = Kontrolle (begrünte, aber ungedüngte Planie); unterstrichen sind die Werte jener Arten, die in einer der drei Düngerpflanzen dominant sind
Species of active ciliates and their dominance in the experimental plots. N = natural soil; B = Biosol (organic fertilizer); A = ARA (organic fertilizer); M = mineral fertilizer; P = non-vegetated, unfertilized ski slope; K = control (vegetated but unfertilized ski slope). Underlined values show species dominant in one of the 3 fertilized plots

(Darst. 3). Die deutlichste Trennung zwischen gedüngten und ungedüngten Flächen wird mit dem Arten-Abundanzindex erreicht (Darst. 3d), da die unbehandelten Flächen sehr geringe Arten- und Individuenzahlen besitzen.

3. Testaceen

Die Testaceen-Gemeinschaft des ungestörten Bodens (N) weist eine Artenzusammensetzung auf, wie sie nach früheren Untersuchungen zu erwarten war (LAMINGER 1971a, b, 1972, 1978; FOISSNER u. ADAM 1981). In einem Gramm Boden-Trockenmasse (TM) leben durchschnittlich 540 Individuen. (B) zeigt mit rund 9 Individuen g⁻¹TM gegenüber (A) und (M) mit je 1 Individuum g⁻¹TM den höchsten Wert. Von den 27 in (N) gefundenen Arten kommen nur zwei Arten (*Trinema lineare* und *Euglypha rotunda*) in den gedüngten Flächen vor. Diese beiden Species gehören zur Familie der Euglyphidae, die nach unseren Erhebungen und denen von LAMINGER (1978) in dem untersuchten Gebiet 50–70 % der Individuen repräsentieren. *T. lineare* wird von SCHÖNBORN (1983) zum produktiven Typ gerechnet, vergleichbar dem r-selektierten Typ bei Ciliaten (LÜFTENEGGER et al. 1985). Dies erklärt ihre Fähigkeit zur Erstbesiedlung eines devastierten Biotopes. Ähnliches gilt vermutlich auch für *E. rotunda*, da diese Art von COÛTEAUX (1977) als einer der Erstbesiedler von durch Feuer zerstörten Oberböden beobachtet wurde. In den Flächen (P) und (K) sind keine Testaceen nachweisbar (Tab. 1; Darst. 2j).

4. Rotatorien und Nematoden

Die ermittelten Individuenzahlen der Rotatorien in (B) und (M) ergeben fast völlige Übereinstimmung mit der Anzahl von Rotatorien in (N). Die Fläche (A) zeigt einen niedrigeren Wert und unterscheidet sich signifikant ($P \leq 0,1$) von (N). Mit nur 1 Individuum g⁻¹TM unterscheidet sich die Kontrolle (K) signifikant von allen anderen Probenflächen, sogar von (P) (Tab. 1; Darst. 2k).

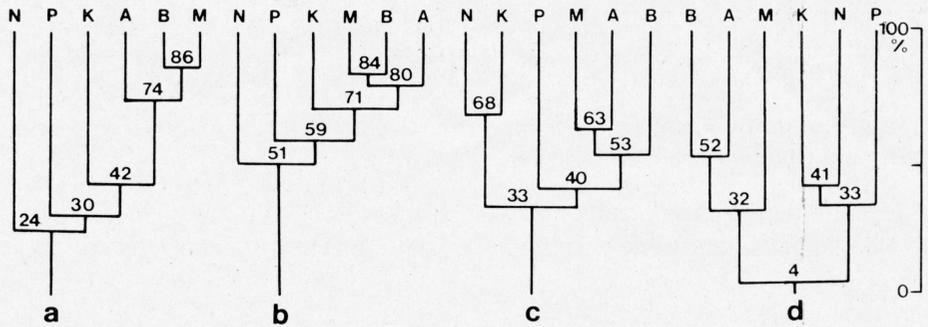
Bei den Nematoden ist ebenfalls ein Düngereffekt bemerkbar. Der höchste Abundanz-Wert wird in (A) erreicht, gefolgt von (N), (B) und (M). (N), (B) und (A) unterscheiden sich nicht signifikant voneinander. Diese 3 Parzellen haben aber signifikant höhere Werte ($P \leq 0,1$) als (M), (P) und (K) (Tab. 1; Darst. 2l).

Diskussion der Ergebnisse

Durch die Planierung wird in erster Linie der Oberboden zerstört, was zu einer Verringerung des Humusgehaltes bis zu 90 % führt (Tab. 1; NASCHBERGER u. KÖCK 1983). Nur die Rekultivierungsmaßnahmen mit organischen Düngern führten bisher zu einer signifikanten Erhöhung der organischen Substanz im gestörten Boden (Tab. 1; Darst. 2a). Dieser Anstieg ist zugleich die wichtigste Voraussetzung für eine erfolgreiche Wiederbegrünung und die Ansiedlung von Bodentieren (SCHÖNTHALER 1985; FOISSNER 1986).

Alle drei Dünger bewirken einen signifikanten Anstieg der Abundanz, Biomasse und Artenzahl der Ciliaten und Nematoden in den gestörten Flächen (Tab. 1; Darst. 2d-g, l). Dafür ist vermutlich die düngerbedingte Zunahme der Bakterien und Pilze im Boden verantwortlich (INSAM u. HASELWANDTER 1985). Viele Ciliaten und Nematoden ernähren sich von diesen Organismen, und positive Korrelationen zwischen Humusgehalt, mikrobieller Aktivität und Protozoen sind heute gut gesichert (FOISSNER 1986). Möglicherweise wirkt sich auch der erhöhte pH-Wert positiv aus (BERGER et al. 1986). Die beiden organischen Dünger bewirken einen signifikant höheren Anstieg der organischen Substanz und der Abundanzen und Biomassen der Ciliaten und Nematoden als der mineralische Volldünger (Tab. 1; Darst. 2d, e, l). Gleiches wurde von INSAM und HASELWANDTER (1985) für die mikrobiellen Biomassen dieser Versuchsflächen festgestellt. Die Nematoden scheinen besonders stark von Rekultivierungsmaßnahmen abzuhängen, da sie in den ungedüngten Flächen praktisch fehlen (Tab. 1; Darst. 2l).

Darst. 3: Vergleich der Ciliaten-Gemeinschaften in den Versuchsflächen mittels UPGMA-Clusters. a: Artenidentität der aktiven Ciliaten. b: Artenidentität der Ciliaten mit einer Kulturmethode. c: Dominanzidentität. d: Arten-Abundanzidentität. N = natürlicher Boden; B = Biosol (organischer Dünger); A = ARA (organischer Dünger); M = Mineraldünger; P = unbegrünte, ungedüngte Planie; K = Kontrolle (begrünte, aber ungedüngte Planie)



Comparison of the ciliate communities of the experimental plots by UPGMA-clustering. a: species identity of active ciliates; b: species identity determined by a culture method; c: dominance identity; d: species-abundance index. N = natural soil; B = Biosol (organic fertilizer); A = ARA (organic fertilizer); M = mineral fertilizer; P = non-revegetated, unfertilized ski slope; K = control (revegetated but unfertilized ski slope)

Die niedrigen Individuen- und Artenzahlen der Testaceen in den planierten, gedüngten Parzellen und ihr Fehlen in der planierten, ungedüngten Fläche (Tab. 1; Darst. 2j) weisen darauf hin, daß die Planierungsmaßnahmen einen sehr schwerwiegenden Eingriff in die Testaceen-Gemeinschaft des Bodens darstellen und die Regeneration einen langen Zeitraum in Anspruch nehmen wird. Auch die hohe Aktivität der Ciliaten in den gedüngten Flächen ist ein für alpine Böden unnatürlicher Zustand (FOISSNER 1981; BERGER et al. 1985). Dies belegt der biozönotische Vergleich, der eine sehr klare Trennung zwischen dem natürlichen Boden sowie den ungedüngten Flächen und den 3 gedüngten Parzellen zum Ausdruck bringt (Darst. 3). Allerdings bieten die gedüngten Flächen als reich belebte Rohböden die besten Voraussetzungen für eine Wiederbesiedlung durch autochthone Tier- und Pflanzenarten und eine fortschreitende Bodenbildung. Die vorliegende Studie bestätigt damit die Ergebnisse von KÖCK und HOLAUS (1981), BADAWY und SCHÖNTHALER (1983), NASCHBERGER und KÖCK (1983) und INSAM und HASELWANDTER (1985), die auf die besondere Eignung organischer Dünger für die Wiederbegrünung extremer Standorte hinweisen.

Danksagung

Die Untersuchung wurde von der Fa. Biochemie GesmbH, Kundl, und dem Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung, Projekte Nr. P 5889 und 5226, unterstützt. Unser Dank gilt auch Frau Karin BERNATZKY für phototechnische Hilfe, Herrn Robert BAUER für Unterstützung bei der statistischen Auswertung und Herrn Hans LÜFTENEGGER für die Aufnahme der Bodenprofile.

Literatur

- BADAWY, N., u. K. E. SCHÖNTHALER, 1983: Untersuchungen über die Wirkung von Produkten zur Erosionshemmung unter besonderer Berücksichtigung der Hochlagenbegrünung. *Z. Vegetationst.* **6**, 41–45.
- BERGER, H., W. FOISSNER u. H. ADAM, 1985: Protozoologische Untersuchungen an Almböden im Gasteiner Tal (Zentralalpen, Österreich). IV. Experimentelle Studien zur Wirkung der Bodenverdichtung auf die Struktur der Testaceen- und Ciliatenzönose. Veröff. Österr. MaB-Programms **9**, 97–112.
- BERGER, H., W. FOISSNER u. H. ADAM, 1986: Field experiments on the effects of fertilizers and lime on the soil microfauna of an alpine pasture. *Pedobiologia*. in press.
- BRAY, J. R., u. J. T. CURTIS, 1957: An ordination of the upland forest communities in southern Wisconsin. *Ecol. Monogr.* **27**, 325–349.
- COÛTEAUX, M.-M., 1977: Reconstitution d'une nouvelle communauté thécamoebienne dans la litière d'une forêt incendiée en région subméditerranéenne. *Ecol. Bull. Stockholm* **25**, 102–108.
- FOISSNER, W., 1981: Die Gemeinschaftsstruktur der Ciliatenzönose in alpinen

Böden (Hohe Tauern, Österreich) und Grundlagen für eine Synökologie der terricolen Ciliaten (Protozoa, Ciliophora). Veröff. Österr. MaB-Programms **4**, 7–52.

FOISSNER, W., 1985: Protozoologische Untersuchungen an Almböden im Gasteiner Tal (Zentralalpen, Österreich). III. Struktur und Dynamik der Testaceen- und Ciliatenzönose. Veröff. Österr. MaB-Programms **9**, 65–95.

FOISSNER, W., 1986: Soil protozoa: fundamental problems, ecological significance, adaptations in ciliates and testacea, bioindicators and guide to the literature. *Progress in Protistology* **2**, in press.

FOISSNER, W., u. H. ADAM, 1981: Die Gemeinschaftsstruktur und Produktion der terricolen Testaceen (Protozoa, Rhizopoda) in einigen Böden der Österreichischen Zentralalpen (Hohe Tauern, Glocknergebiet). Veröff. Österr. MaB-Programms **4**, 53–78.

FOISSNER, W., H. FRANZ u. H. ADAM, 1982: Terrestrische Protozoen als Bioindikatoren im Boden einer planierten Ski-Piste. *Pedobiologia* **24**, 45–56.

FRANZ, H., 1979: Ökologie der Hochgebirge. Ulmer Verlag, Stuttgart, 495 S.

INSAM, H., u. K. HASELWANDTER, 1985: Die Wirkung verschiedener Begrünungsmaßnahmen auf die mikrobielle Biomasse im Boden planierter Schipisten oberhalb der Waldgrenze. *Z. Vegetationst.* **8**, 23–28.

JACCARD, P., 1902: Lois de distribution florale dans la zone alpine. *Bull. Soc. Vaud. Sci. Nat.* **38**, 69–130.

KÖCK, L., u. K. HOLAUS, 1981: Erste Ergebnisse zur Verbesserung des Pflanzenwuchses auf Schipisten mit Pilzmycel. *Z. Vegetationst.* **5**, 70–72.

LAMINGER, H., 1971a: Über das Vorkommen von Schalenamöben (Protozoa, Rhizopoda testacea) in Hochgebirgsböden. *Zool. Anz.* **186**, 329–332.

LAMINGER, H., 1971b: Ein Beitrag zur Kenntnis der Thekamöbenfauna Österreichs (Protozoa, Rhizopoda testacea). *Zool. Anz.* **187**, 372–382.

LAMINGER, H., 1972: Ein Beitrag zur Kenntnis der Hochgebirgs-Testaceen Österreichs. *Arch. Protistenk.* **114**, 101–151.

LAMINGER, H., 1978: The effects of soil moisture fluctuations on the testacean species *Trinema enchelys* (EHRENBERG) LEIDY in a high mountain brown-earth-podsol and its feeding behaviour. *Arch. Protistenk.* **120**, 446–454.

LÜFTENEGGER, G., W. FOISSNER u. H. ADAM, 1985: *r*- and *K*-selection in soil ciliates: a field and experimental approach. *Oecologia* **66**, 574–579.

LÜFTENEGGER, G., W. FOISSNER, H. BERGER u. H. ADAM, 1987: Ciliatostasis and its disruption by human influences. *J. Protozool.* in press.

MÜHLENBERG, M., 1976: Freilandökologie. Quelle & Meyer, Heidelberg, 214 S.

NASCHBERGER, S., u. L. KÖCK, 1983: Erfahrungen über die Wirkung von Biosol bei der Begrünung von Schipisten. *Z. Vegetationst.* **6**, 33–36.

PIELOU, E. C., 1966: The measurement of diversity in different types of biological collection. *J. theor. Biol.* **13**, 131–144.

PIRKL, H. R., 1980: Die westlichen Zentralalpen (von der Silvretta zum Brenner). In: Geologische Bundesanstalt, ed., *Der geologische Aufbau Österreichs*. Springer Verlag, Wien, New York, 332–347.

RENKONEN, O., 1938: Statistisch-ökologische Untersuchungen über die terrestrische Käferwelt der finnischen Bruchmoore. *Ann. Zool. Soc. Zool.-Bot. Fenn. Vanamo* **6**, 1–231.

SACHS, L., 1984: *Angewandte Statistik*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, 552 S.

SCHIECHTL, H. M., 1973: *Sicherungsarbeiten im Landschaftsbau*. Callwey Verlag, München, 244 S.

SCHÖNBORN, W., 1983: Beziehungen zwischen Produktion, Mortalität und Abundanz terrestrischer Testaceen-Gemeinschaften. *Pedobiologia* **25**, 403–412.

SCHÖNTHALER, K. E., 1985: Auswirkungen der Anlagen für den Massensport auf die Landschaft. *Die Bodenkultur* **36**, 155–360.

STÖHR, B., 1983: Erfassung von direkten Landschaftsveränderungen durch den Schisport — am Beispiel eines Teilbereiches der Schloßalm, Bad Hofgastein. Diplomarbeit, Wien.

Verfasser: Gabriele LÜFTENEGGER, Univ.-Doz. Dr. Wilhelm FOISSNER und Univ.-Prof. Dr. Hans ADAM, Institut für Zoologie der Universität Salzburg, Hellbrunnerstraße 34, A-5020 Salzburg, Österreich.

ZUM KLIMATISIERUNGSEFFEKT VON PFLANZENBESTÄNDEN AUF DÄCHERN

II. Wärmedämmverhalten verschiedener Gräser-Kräuter-Mischungen und Stauden bei Intensivbegrünungen

Effects of rooftop plantings on microclimate

II. Heat insulating behaviour of different grass/herb mixtures and perennials in intensive plantings

W. KOLB u. W. KLEIN

Zusammenfassung

Auf einem Gründach wurden verschiedene Pflanzenbestände bezüglich ihres Wärmedämmverhaltens im Winter und Sommer getestet. Auf der Grundlage ausgewählter Meßzeiträume konnten die Temperaturmittelwerte über den Pflanzenbeständen im Vergleich mit der Temperatur unter den Pflanzen dazu benutzt werden, pflanzenspezifische Dämmleistungen zu berechnen.

Bei einem K-Wert von 0,356 W/m²/K für eine vorhandene Dachkonstruktion einschließlich Dränschicht und Substrat konnte durch die getesteten Pflanzenarten mit Ausnahme von *Hypericum calycinum* die Wärmedämmung verbessert werden. Im Sommer wurden Verminderungen des K-Wertes zwischen 52 und 72 Prozent erzielt. Besonders günstig schneiden dabei Gräser-Kräutermischungen ab. Im Winter waren reine Gräsermischungen besonders wirksam. Sie konnten den K-Wert um ca. 30 Prozent senken. Eine Verbesserung des K-Wertes um 23 Prozent erzielte ein Bestand mit *Vinca minor*.

Einführung

Im ersten Teil des Beitrages sind Material und Methoden eines Versuches dargestellt, der sich mit den temperaturbeeinflussenden Wirkungen von verschiedenen Vegetationsstrukturen auf Dächern befaßt (ZfV 3/86). Hierbei sind die Kühlleistungen verschiedener Pflanzen im Sommer als Temperatur-Amplituden-Verhältnis (TAV) nachgewiesen.

Im nachfolgenden Abschnitt sollen die Auswirkungen der Pflanzen auf das Wärmedämmverhalten einer Dachkonstruktion untersucht werden.

Für die Wärmebedarfsberechnung wird bauphysikalisch der Wärmedurchlaßwiderstand Δ in m²K/W bzw. der Umkehrwert dieses Begriffes, die Wärmedurchgangszahl K in W/m²/K, verwendet. Je höher der Wärmedurchlaßwiderstand bzw. niedriger die Wärmedurchgangszahl ist, desto günstiger ist das Wärmedämmverhalten einzuschätzen. Für die Berechnung eines ausreichenden Wärmeschutzes werden nur die Schichten berücksichtigt, die sich auf der Innenseite der Dachdichtung befinden (DIN 4108; TEBART 1983).

Die Stoffe über der Dichtung bleiben meist ohne rechnerischen Ansatz, weil durch Witterungseinflüsse, z. B. Luftbewegung und Feuchtigkeit, der Wärmedurchgang großen Änderungen unterworfen ist (TEBART 1983). Tatsächlich sind die Wärmedurchlaßwiderstände der meisten für den Dachaufbau des Gründaches verwendeten Stoffe wie Oberboden, Kies und andere Schüttstoffmaterialien bei Wassersättigung relativ gering. Beim Oberboden z. B. schwankt der Durchlaßwiderstand in Abhängigkeit von der Durchfeuchtung zwischen 0,1 und 2,0 m²K/W bei einer 20 cm dicken Schicht. Insofern erscheint die Vernachlässigung der zusätzlichen Wärmedämmung des Gründaches berechtigt. Sicher ist dies auch der Grund, weshalb für verschiedene Vegetationsstrukturen kaum rechnerische Werte für Wärmeleitfähigkeit und Wärmeübergang bekannt sind. Für das Optima-System-Gründach wies jedoch EGGENBERGER (1981) bei einer Schichthöhe von 30 cm die Verminderung des K-Wertes von ursprünglich 0,62 auf 0,45 W/m²/K nach. Der Einfluß der Vegetation ist dabei vermutlich nicht berücksichtigt.

Summary

The heat insulating behaviour of different plantings in a roof garden were examined in winter and summer. Based on the results of temperature readings made during selected periods both above and underneath the plants, it was possible to calculate plant specific insulation performances for the different plantings.

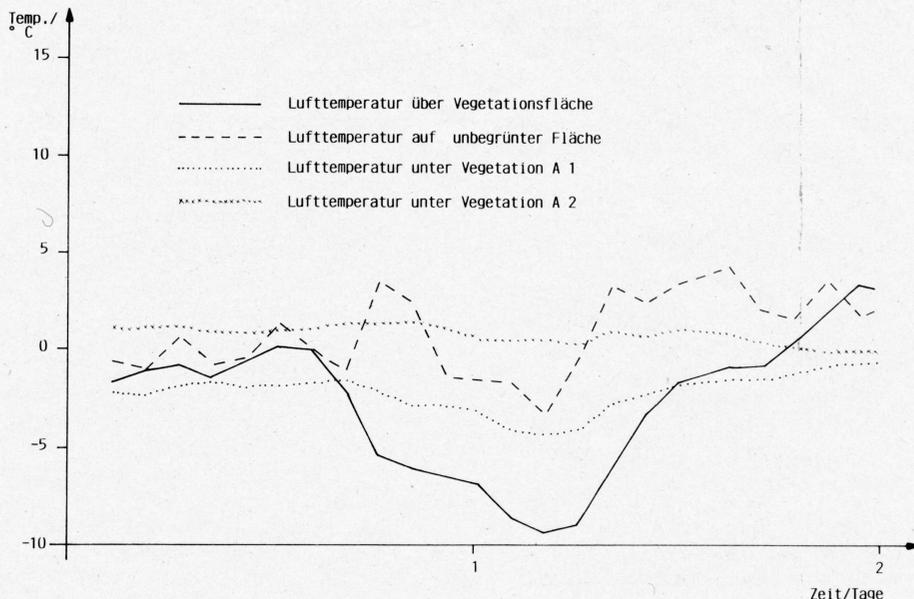
It was found that on a roof with a K-value of 0,356 W/m²/K (including drainage and substrate layer) that the plants, with the exception of *Hypericum calycinum*, increased the insulation effect. The K-value was reduced in summer by between 52 — 72 %, whereby the grass/herb mixtures showed the best results. Grass mixtures were most effective during the winter. They were able to reduce the K-value by ca. 30 %. *Vinca minor* led to an improvement of the K-value by 23 %.

Eine Veränderung des Wärmedurchlaßwiderstandes infolge Durchfeuchtung ist bei Pflanzenbeständen selbst kaum zu erwarten, da im wesentlichen im Luftpolster der Pflanzen kein Wasser aufgenommen werden kann. TEBART (1983) gibt für einen 20 bis 40 cm hohen Gräserbestand einen Wärmedurchlaßwiderstand von 1,5 bis 3 m²K/W an. Dies ist etwa vergleichbar mit dem Wert einer ca. 8 cm dicken Wärmedämmplatte 035. Unter dieser Voraussetzung wäre allerdings von dem Graspolster eine erhebliche Dämmwirkung zu erwarten. MINKE (1984) berücksichtigt bei der Berechnung der K-Werte seines Systems einen Durchlaßwiderstand von 1,0 m²K/W. Angenommen wird eine 10 cm dicke Grasschicht im Winter.

BAUMANN (1983) ermittelte bei einem 35 cm dicken Efeupolster einen Wärmedurchlaßwiderstand von 0,11 bis 0,15 m² K/W, mit dessen Hilfe er für verschiedene Baukonstruktionen Verbesserungen des K-Wertes von ca. 3 bis 18 Prozent nachweisen konnte.

Ergebnisse und Diskussion

Bereits aufgrund der im Teil I beschriebenen Messungen kann eine wesentliche Beeinflussung des Temperaturverhaltens des Daches durch Begrünung unterstellt werden. Die Darstellung 1 enthält die Temperaturganglinien an verschiedenen Meßpunkten unter der Gräsermischung A 1 an einigen kalten Wintertagen im Jahr 1986. Der Pflanzenbestand hatte sich zu diesem Zeitpunkt zwei Vegetationsperioden lang entwickeln können. Die Temperaturverläufe unter der Dachkonstruktion sowie auf der Dränschicht weisen praktisch keine Amplituden auf. Daraus ist zu folgern, daß bereits oberhalb der Dränschicht, also außerhalb der Dachdichtung, wesentliche Durchlaßwiderstände vorhanden sind, denn der Temperaturgang der Luft über dem Grasdach bewegt sich in dem dargestellten Meßabschnitt zwischen 4 °C und -9 °C (FASKEL 1981). Unter dem Kräuter-Gräserbestand der hier dargestellten Mischung A 1 wurde die Temperaturamplitude der Luft von 13 °C auf 3 °C vermindert. Neben der für die Lebensdauer der Dachkonstruktion, besonders der Dichtungsbahn, maßgeblichen Verringerung der Amplitudendämpfung



Darst. 1: Temperaturverlauf unter der Gräser-Kräuter-Mischung A 1 im Vergleich mit Temperaturganglinien an verschiedenen Meßstellen eines Versuchsdaches im Winter 1985/86

Temperature course under the grass/herb mixture A 1 in comparison to the temperature courses at different points on the trial garden roof in winter 85/86

(GRÜN 1974; KIENLE u. LUTZ 1978) kann mit den Mittelwerten der Ganglinien auch der Wärmedurchlaßwiderstand bzw. der K-Wert berechnet werden. Dazu wurde zunächst der K-Wert der Dachkonstruktion ohne Vegetation rechnerisch ermittelt. Bei der Festlegung der Durchfeuchtung von Dränschicht und Substrat wurde der Mittelwert der theoretischen Gesamtkapazität angenommen. Es ergab sich ein Gesamtdurchlaßwiderstand von 2,808 m²K/W bzw. ein K-Wert von 0,356 W/m²/K. Dieser entspricht einer relativ hohen Wärmedämmung der Dachkonstruktion, da die beim baulichen Wärmeschutz anzustrebenden Werte für Außenwände bei $K \leq 0,5 \text{ W/m}^2/\text{K}$ liegen (KIENLE 1984; GSAENGER et. al. 1981). Zunächst war erwartet worden, daß die Vegetation auf der Dachkonstruktion diese bezüglich ihres Wärmedämmverhaltens nicht mehr wesentlich verbessern kann, weil der Ausgangswert ohne Begrünung schon relativ hoch lag. Der Temperaturmittelwert der Ganglinien wurde dazu benutzt, den Wärmeübergang $1/\alpha$ a außen zu ermitteln. Mit Hilfe dieses Parameters konnte die auf die Vegetation bezogene Veränderung des K-Wertes nach folgendem Ansatz durchgeführt werden.

$$\frac{1}{\alpha a} = \frac{t_a - t_{wa}}{t_{wa} - t_{wi}} \cdot \sum \frac{d}{\eta}$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha a} + \sum \frac{d}{\eta} + \frac{1}{\alpha i}}$$

$$\alpha a \left(\frac{W}{m^2 \times K} \right) = \text{Wärmeübergang außen}$$

$$\alpha i \left(\frac{W}{m^2 \times K} \right) = \text{Wärmeübergang innen}$$

t_a (°C) = Lufttemperatur außen

t_{wa} (°C) = Oberflächentemperatur unter der Vegetation

t_{wi} (°C) = Deckentemperatur innen

d (m) = Dicke der Deckenschichten

$\eta \left(\frac{W}{m K} \right) = \text{Wärmeleitfähigkeit der Deckenschichten}$

Der Wert $1/\alpha$ a entspricht dabei dem Wert, der sich aus dem Wärmeübergangswiderstand außen und dem Wärmedurchlaßwiderstand des Pflanzenpolsters ergibt. Es wird in Ermangelung rechnerischer λ -Werte für die getesteten Vegetationsstrukturen praktisch der normative Festwert für den äußeren Wärmeübergangswiderstand von 0,04 m²K/W aufgrund der gemessenen Temperaturwerte verändert.

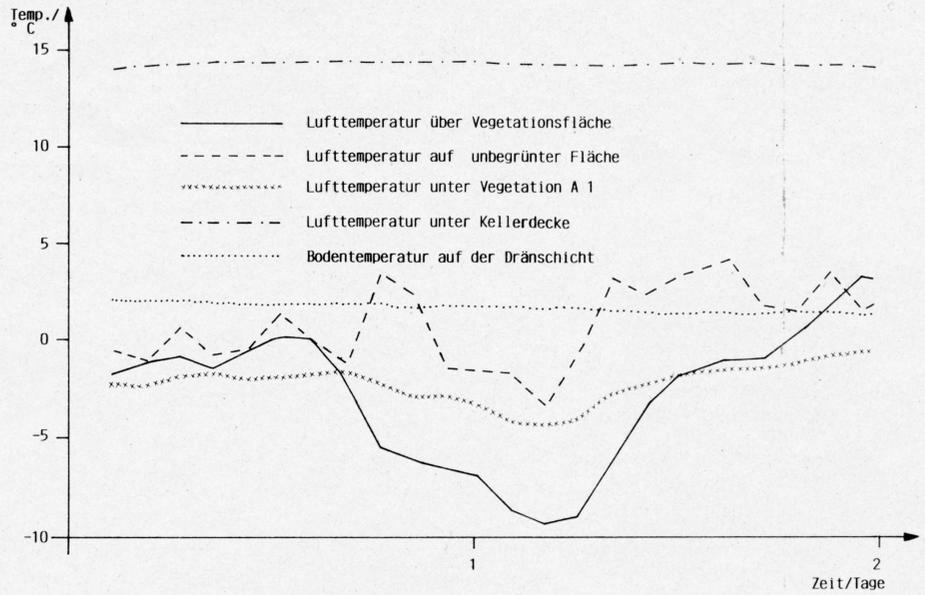
Bei dem Grasdach mit der artenreichen Kräuter-Gräser-Vegetation A 1 gemäß Darstellung 1 ergab sich ein K-Wert von 0,318 W/m²/K bzw. ein Wärmeübergangswiderstand der Vegetation von 0,380 m²K/W. Dies entspricht einer Verbesserung des thermischen Widerstandes von ca. 10 Prozent. Die gleiche Pflanzengemeinschaft im Sommer erbrachte unter Verwendung der dort gemessenen Werte eine Dämpfung der Temperaturamplitude zwischen 86 und 94 Prozent (vgl. Teil I). Der K-Wert im Sommer lag bei 0,097 W/m²/K. Dies bedeutet eine Minderung der Kühllast von um 72 Prozent! Die von MINKE (1984) bzw. TEBART (1983) genannten Wärmedurchlaßwiderstände von 1,00 bis 3,00 m²K/W wurden von der Variante A 1 nicht erreicht. Mit 0,380 m²K/W für den äußeren Wärmeübergangswiderstand blieb im Winter der Wert wesentlich unter diesen Ansätzen, obwohl die Höhe des Pflanzenpolsters zum Meßzeitpunkt 16 cm betrug (Tab. 1).

In diesem Zusammenhang ist zu vermuten, daß der hohe Kräuteranteil dieser Mischung im Sommer für die Bildung eines stabilen Luftpolsters und den damit verbundenen hohen thermischen Widerstand verantwortlich ist. Auf die im Verlauf der Vegetationsruhe eintretende Rückbildung der Dichte infolge Blattfall und teilweisem Einziehen der Kräuter dürfte das geringe Wärmedämmverhalten im Winter zurückzuführen sein. Die kräuterreiche Gräser-Variante A 3 konnte ähnliche Leistungen erzielen wie die Variante A 1. Auf eine Darstellung wird deshalb hier verzichtet.

Die reine Gräsermischung A 2 bewirkte im Winter eine relativ hohe Verbesserung des k-Wertes (vgl. auch die Temperaturganglinien gemäß Darst. 2). Bezogen auf den dargestellten

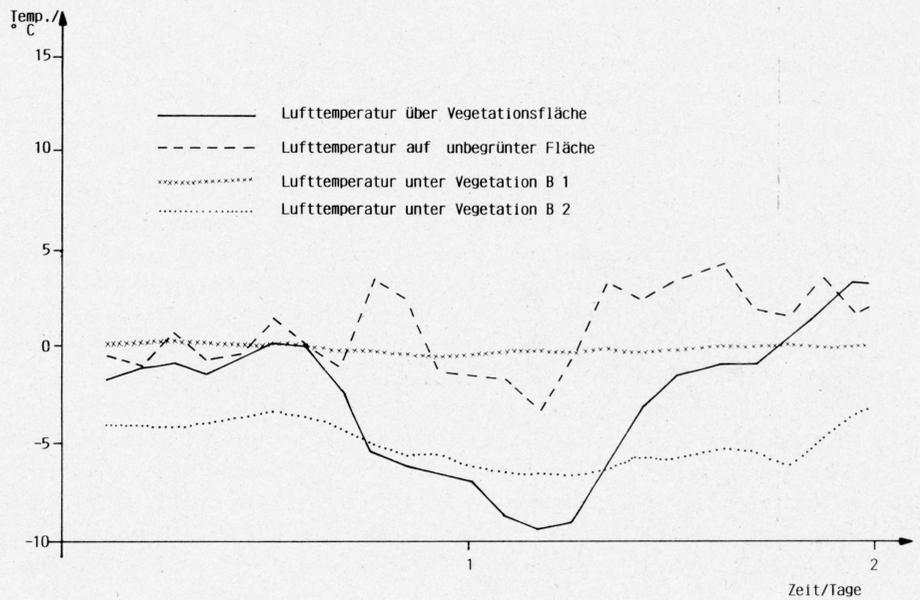
Darst. 2: Temperaturverlauf unter Gräsermischung A 2 und A 1 im Vergleich mit Temperaturganglinien an verschiedenen Meßstellen eines Versuchsdaehes im Winter 1985/86

Temperature course under grass mixture A 2 and grass/herb mixture A1 in comparison to the temperature courses at different points on the trial garden roof in winter 85/86



Darst. 3: Temperaturverlauf unter den Staudenvarianten B 1 und B 2 im Vergleich mit Temperaturganglinien an verschiedenen Meßstellen eines Versuchsdaehes im Winter 1985/86

Temperature course under the perennial variants B 1 and B 2 in comparison to the temperature courses at different points on the trial garden roof in winter 1985/86



Darst. 4: Temperaturverlauf an verschiedenen Meßstellen eines Gründaches im Vergleich mit der Lufttemperatur über einer ca. 20 cm dicken Schneelage im Winter 1984/1985

Temperature courses at different points on a garden roof in comparison with the air temperature above a ca. 20 cm layer of snow in winter 1984/85

