

Sonderdruck aus
Beiträge zu den Wechselbeziehungen zwischen den Hochgebirgsökosystemen und dem Menschen
Schriftleitung Herbert Franz
(Veröffentlichungen des Österreichischen MaB-Programms, Band 9)
© 1985 by Universitätsverlag Wagner, A-6010 Innsbruck

PROTOZOOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN AN ALMBÖDEN IM GASTEINER TAL (ZENTRALALPEN, ÖSTERREICH).

IV. Experimentelle Studien zur Wirkung der Bodenverdichtung auf die Struktur der Testaceen- und Ciliatentaxozönose

Helmut BERGER, Wilhelm FOISSNER und Hans ADAM

Summary

Studies on the protozoa in alpine soils from the Gastein area (Central Alps, Austria). IV. Experimental studies about the effects of soil compaction on the structure of the testacean and ciliate community.

The effects of soil compaction on the structure of the testacean and ciliate community were studied by means of a special compaction chamber. The upper 5 cm of soil of an alpine pasture (ca. 1.965 m above sea-level) were compacted at 10 % (c), 30 % (d) and 50 % (e). The control (a) was the undisturbed alpine pasture. Sample (b) was used to determine the effect of the chamber. The chambers were exposed for 3 months at the same sites. The testacea react by a loss of the infrequent species and a continuous decrease of their abundance. *Centropyxis aerophila* var. *spha-gnicola* is most abundant in (a) to (d), whereas *Trinema lineare* is most frequent in (e). Both species number and abundance are significantly negative correlated with bulk density. The part of empty tests increases from (a) to (e). *Trinema complanatum* is significantly smaller in (e) than in (c). So we conclude, that smaller species are relatively less influenced by soil compaction than larger ones. Active ciliates are most abundant in (d). The qualitative investigations (culture method!) showed a significant effect of the chamber to the species number of the ciliates. But there are no differences from (b) to (e). Concerning the abundance the nematoda react similar as the testacea. The pH is significantly positive correlated with the bulk density. The reduced pore space and moisture content seem to be responsible for these changes of the communities. The results of our experiments are comparable with field studies at ski trails. Thus terrestrial protozoa are useful bioindicators. The ciliates appear to react more sensitively but less selectively than the testacea to a disturbance of their environment.

1. EINLEITUNG

Bisher sind lediglich der Einfluß des pH, der Feuchtigkeit, der Temperatur sowie die Wirkung von Herbiziden und Rohöl auf terrestrische Protozoen experimentell untersucht worden (STOUT 1956, LOUSIER 1974 a,b, DESHMUKH und SHRIKHANDE 1974, BUITKAMP 1979, ROGERSON und BERGER 1981, BRYANT et al. 1982). FOISSNER UND ADAM (1980), LAMINGER et al. (1980), FOISSNER et al. (1982) und VERGEINER et al. (1982) stellten bei Untersuchungen an Schipisten starke Strukturveränderungen der Ciliaten- und Testaceentaxozönosen fest, ohne sie aber

auf definierte Veränderungen des abiotischen Faktorengefüges zurückführen zu können. Sie vermuteten jedoch unter anderem, daß daran die durch die Pistenplanung und Schibefahrung verursachte Bodenverdichtung wesentlich beteiligt ist. Um dies zu prüfen, führten wir experimentelle Freilanduntersuchungen durch, über die in dieser Arbeit berichtet wird.

2. MATERIAL UND METHODEN

2.1. Standortbeschreibung

Die Untersuchungen wurden in der Vegetationsperiode des Jahres 1982 auf der von CER-NUSCA (pers. Mitt.) gewählten Referenzfläche im Schloßalmgebiet (Bad Hofgastein, Salzburg) ca. 150 m westlich der Hamburgerhütte durchgeführt (Abbildung 1). Es handelt sich um eine weitgehend unbeeinflusste Almweide in ca. 1.965 m Meereshöhe.

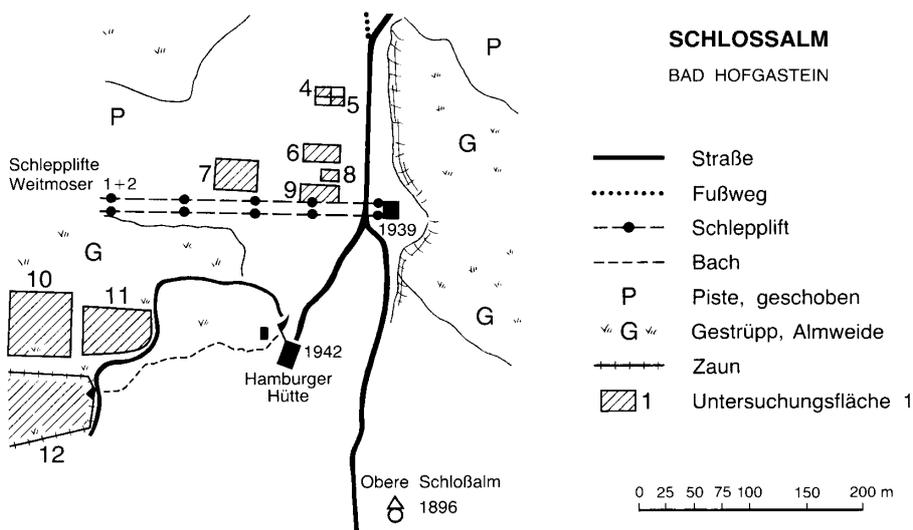


Abbildung 1: Lageplan des Untersuchungsgebietes. Das Experiment wurde auf der Untersuchungsfläche 11 durchgeführt. Diese Abbildung ist Teil einer Übersichtskarte des Schloßalmgebietes. Nach einem Luftbild gezeichnet.

2.2. Profilbeschreibung¹

Weiderasenmosaik mit Zwergstrauchbüschen, E, 10–15°, Glimmerschiefer, Phyllit. Tiefgründiger alpiner Pseudogley.

O/A_h 0 bis 4 cm: Humusreicher Mineralbodenhorizont mit mehr oder weniger mächtigen (je nach Vegetationsbedeckung) Rohhumusaufgaben, intensiv durchwurzelt, krümelig, gut porös, mäßig dicht bis dicht, mullartiger Moder, 10 YR 2/3, kein Kalkgehalt, absetzend.

E 4 bis 14 cm: Eluvialhorizont, stark sandiger Schluff, schwach blockig bis körnig, gut porös, mäßig dicht, gut durchwurzelt, 10 YR 4/2–4/3, kein Kalkgehalt, übergehend.

¹ Herrn Doz. Dr. Peer vom Institut für Botanik der Universität Salzburg danken wir für die Bodenanalyse.

2.3. Verdichtungskammern

Zur Verdichtung des Bodens wurden 12 Aluminiumkammern mit den Innenabmessungen von 100 x 100 x 60 mm verwendet (Abbildung 2). Der bewegliche Deckel kann mit 4 Schrauben (M 10) nach unten gezogen werden. Um einen guten Kontakt mit der Umgebung zu gewährleisten (Wasseraustausch, Aus- bzw. Einwanderung von Tieren, Pflanzenwachstum usw.), sind die Kammern allseitig mit zahlreichen Löchern versehen (Lochanteil = 10,6 %). Für jede der 3 gewählten Verdichtungsstufen (10 %, 30 % und 50 %) wurden 3 Kammern exponiert. Drei weitere, deren Inhalt nicht verdichtet wurde, dienten dazu, um den Einfluß der Kammer zu bestimmen (Kammerfaktor). Als Referenzprobe diente der völlig unbeeinflusste Almweideboden. Die Beschickung erfolgte am 3.7.1982 mit Bodeniegeln (10 x 10 x 5 cm; $V_A = 500 \text{ cm}^3$), die aus einem mit einer homogenen Grasdecke bewachsenen Areal von ca. 1,5 m² ausgestochen wurden. Anschließend wurden die Proben mitsamt den Kammern wieder an ihren Entnahmestellen deponiert. Die 5 Probenserien, die jeweils aus 3 Parallelproben bestehen, sind mit (a) bis (e) bezeichnet.

- (a) Unbeeinflusster Almweideboden
- (b) Kontrollprobe in der Kammer, unverdichtet
- (c) 10%ige Verdichtung (10 x 10 x 4,5 cm; $V_E = 450 \text{ cm}^3$)
- (d) 30%ige Verdichtung (10 x 10 x 3,5 cm; $V_E = 350 \text{ cm}^3$)
- (e) 50%ige Verdichtung (10 x 10 x 2,5 cm; $V_E = 250 \text{ cm}^3$)

Die prozentuelle Verdichtung errechnet sich nach:

$$\text{Verdichtung (\%)} = \frac{\text{Anfangsvolumen } V_A - \text{Endvolumen } V_E}{\text{Anfangsvolumen } V_A} \times 100$$

2.4. Auswertung der Experimente

Die Proben wurden nach einer Exposition von ca. 3 Monaten am Ende der Vegetationsperiode ausgewertet. Wegen der großen Probenanzahl mußte die Probennahme an 3 verschiedenen Tagen durchgeführt werden. Am 6. 10. 1982 wurde die Probenserie (e) entnommen. Gleichzeitig wurde eine Kammer der Probenserie (b) und eine Probe vom Typ (a) ausgestochen. Am 12. und am 17. 10. 1982 wurden die Serien (d) und (c) in gleicher Weise entnommen.

2.5. Untersuchungsmethoden

Bodenwassergehalt: Angabe in Massen % des frischen Bodens (Lufttrocknung).

Lagerungsdichte, Porenanteil: Lufttrocknung (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 1979).

Dichte der Festsubstanz: Spez. Masse = 2,44 g/cm³. Es wurde eine Mischprobe der 5 Serien verwendet (HOFMANN und PFITSCHER 1982).

pH-Wert: Elektrometrisch (Glaselektrode) in einer wässrigen Bodensuspension.

Testaceen: Qualitative und quantitative Auswertung nach FOISSNER et al. (1982). Für die Determination wurde die bei FOISSNER und ADAM (1981) angegebene Literatur verwendet. Die Berechnung der Biomasse erfolgte nach den Abmessungen der Schalen, die schon früher an Tieren aus demselben Untersuchungsgebiet ermittelt wurden. Da die spez. Masse annähernd 1 g/cm³ beträgt, kann der Betrag des Volumens dem der Masse gleichgesetzt werden. Um eventuelle Auswirkungen der Bodenverdichtung auf die Schalengröße ermitteln zu können, wurden von 4, in allen Probenserien vorkommenden Arten (*Centropyxis aerophila* var. *sphagnicola*, *Trinema lineare*, *T. complanatum* und *Phryganella acropodia*) die Länge und die Breite bzw. der Durchmesser gemessen.

Ciliaten: Untersuchung auf aktive Ciliaten und Bestimmung der Artenzahl nach FOISSNER et al. (1982) und FOISSNER (1981 a). Die Determination erfolgte nach FOISSNER (1980, 1981 b, c, 1982), HEMBERGER (1982), HEMBERGER und WILBERT (1982) und KAHL (1930, 1931, 1932, 1935). Eine quantitative Analyse wurde nicht durchgeführt.

Diversität, Evenness: nach SHANNON-WEAVER (1949) und PIELOU (1966) in Anleitung von MÜHLENBERG (1976).

Artenidentität: nach SØRENSEN (1948)

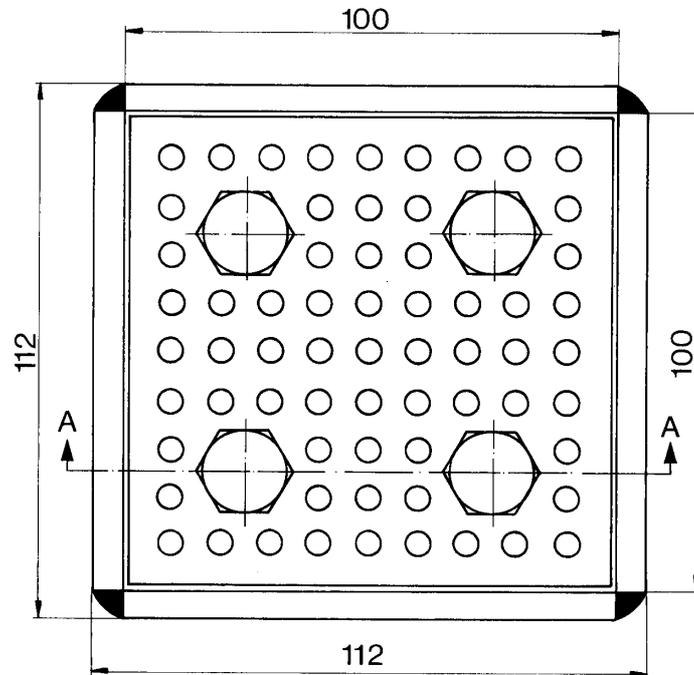
Dominanz, Konstanz: nach SCHWERDTFEGER (1975)

Dominanzidentität: nach RENKONEN (1938)

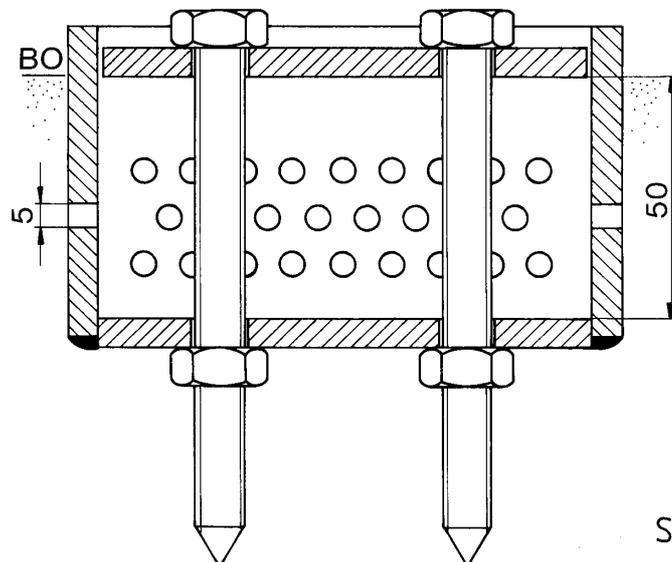
Arten-Abundanzindex: nach BRAY und CURTIS (1957)

Statistische Analyse: Rangkorrelationskoeffizient von SPEARMAN (BARTEL 1978), Chiquadrat Test (MÜHLENBERG 1976) und t-Test (SACHS 1979). Allen Tests liegt ein Signifikanzniveau von 5 % zugrunde. Aus den 3 Werten der Parallelproben wurde der Mittelwert (\bar{x}) berechnet.

2a



2b



Schnitt AA

Abbildung 2 a,b: Verdichtungskammer in Aufsicht (a) und im Schnitt AA (b). Dargestellt ist eine Kammer, deren $V_E = 500 \text{ cm}^3$ beträgt. BO = Bodenoberfläche.

3. ERGEBNISSE

3.1. A b i o t i s c h e F a k t o r e n u n d V e g e t a t i o n

Eine Verringerung des Bodenvolumens um ca. 10 % (c) bewirkt eine Erhöhung der Lagerungsdichte um ca. 6 % (Tabelle 1). Für die Proben (d) und (e) (30 % und 50 % Volumenverringerung) liegen die Werte bei +48 % und +75 % (Abbildung 3a). Das Porenvolumen und damit verbunden der Wassergehalt zeigen folglich eine entgegengesetzte Tendenz (Abbildung 3c). Es besteht eine signifikante positive Korrelation zwischen Lagerungsdichte und pH-Wert, der in (e) um 0,8 Einheiten höher ist als in (a) (Abbildung 3b).

Die Bodenverdichtung wirkt sich auch auf die Vegetation der Verdichtungskammern aus. Die Probenserien (b) und (c) sind mit zahlreichen Gräsern bewachsen und folglich auch gut durchwurzelt. Die Probe (d) weist spärlichen und Probe (e) keinen Bewuchs auf.

3.2. T e s t a c e e n

In den Proben (a) bis (e) treten insgesamt 14 Arten auf (Tabelle 2). Die Artenzahl beträgt in (a) 12 und verringert sich bis zur Probe (e) kontinuierlich auf 5 (Abbildung 3e). Fünf Arten kommen in allen 5 Proben vor und sind dort auch immer dominant (>5%). *Schoenbornia humicola* tritt in (a), (c) und (d) zusätzlich als individuendominante Form auf. Während in (a) bis (d) *Centropyxis aerophila* var. *sphagnicola* als häufigste Species vorkommt, ist in (e) *Trinema lineare* mit 31,4 % am stärksten abundant. *Nebela parvula* und *Plagiopyxis declivis* sind nur in (a) mit geringer Abundanz vertreten. Sowohl die Artenzahl als auch die Abundanz zeigt eine signifikante negative Korrelation mit der Lagerungsdichte. Die Abundanzen von (a), (b) und (c) sind nicht signifikant voneinander unterschieden. Zwischen (c) und (d) und zwischen (d) und (e) treten jedoch signifikante Differenzen auf (Abbildung 3f, Tabellen 3,5). Liegt das Verhältnis der Abundanzen von (a) zu (e) bezogen auf das Trockengewicht noch bei 13,3, so vermindert sich dieser Wert auf 7,6, wenn man sie auf m² bezieht. Ähnlich ist der Effekt bei der Biomasse (14,4 bzw. 8,3). Das Verhältnis der Abundanzen von *Centropyxis aerophila* var. *sphagnicola* zwischen (a) und (e) beträgt 14,6, für *Trinema complanatum* 12,6, für *Phryganella acropodia* 11,5, für *Euglypha laevis* 7,9 und für *Trinema lineare* 7,6. Abbildung 3h zeigt die Biomassen, wobei zu bemerken ist, daß der große Wert von (b) durch die hohe Individuendominanz von *Centropyxis aerophila* var. *sphagnicola* hervorgerufen wird (Tabelle 2). Überhaupt stellt diese Art zusammen mit *Phryganella acropodia* in allen Proben rund 2/3 der Biomasse. Ansonsten zeigen die Biomassenwerte einen den Abundanzen ähnlichen Verlauf. Die hohe Dominanz von *Centropyxis aerophila* var. *sphagnicola* bewirkt in (b) die geringste Diversität und Evenness (Abbildung 3g). Probe (e) weist wegen der hohen Gleichverteilung der Abundanzen eine etwas höhere Diversität auf als (b) (Tabellen 2,3). Die größte Ähnlichkeit im Artenspektrum besitzen (b) und (c) (Abbildung 4a). Probe (e) hat zu allen anderen die geringste Identität. Die Dominanzidentität zeigt ebenfalls eine Verminderung in Abhängigkeit von der Verdichtung. Lediglich (b) fällt wegen der hohen Abundanz von *Centropyxis aerophila* var. *sphagnicola* heraus (Abbildung 4b). Mit dem Arten-Abundanzindex zeigen Probe (a) und (c) mit 84 % die höchste Übereinstimmung, gefolgt von (b) mit 68 %. Die niedrige Artenzahl verbunden mit den geringen Abundanzen führt in (e) zu einer bemerkenswert kleinen Identität von 19 %

Tabelle 1: Zusammenstellung verschiedener physikalischer Parameter und der Abundanz der aktiven Ciliaten (C), Rotatorien (R) und Nematoden (N). BG = Masse (TG) eines Bodenquaders von 1 m² Fläche und 5 cm Tiefe, LD = Lagerungsdichte, PV = Porenanteil, TG = Trockengewicht, WG = Wassergehalt.

Probe	Wert	WG (%)	pH	LD (kg/dm ³)	BG (kg/50 dm ³)	PV (%)	C/1.000gTG (x10 ³)	R/1.000gTG (x10 ³)	N/1.000gTG (x10 ⁵)
a	\bar{x}	50,5	3,9	0,48	24,25	80	15	66	6,4
	min	47,8	3,8	0,37	18,70	75	0	0	5,1
	max	55,9	4,0	0,59	29,80	84	45	159	8,8
b	\bar{x}	49,6	4,1	0,51	25,70	79	0	12	3,0
	min	45,6	4,0	0,40	20,45	76	0	0	1,6
	max	56,9	4,1	0,57	28,95	83	0	19	4,1
c	\bar{x}	50,9	4,4	0,51	25,70	79	0	16	2,8
	min	45,2	4,2	0,41	20,80	77	0	0	1,3
	max	59,3	4,7	0,56	28,30	83	0	49	4,6
d	\bar{x}	45,6	4,4	0,71	35,60	71	71	38	1,4
	min	37,2	4,4	0,55	27,55	63	38	0	0,9
	max	52,7	4,4	0,90	45,00	77	127	113	2,5
e	\bar{x}	36,7	4,7	0,84	42,30	65	10	0	1,2
	min	33,6	4,6	0,79	39,50	62	0	0	0,7
	max	39,5	4,7	0,92	46,10	68	30	0	1,7

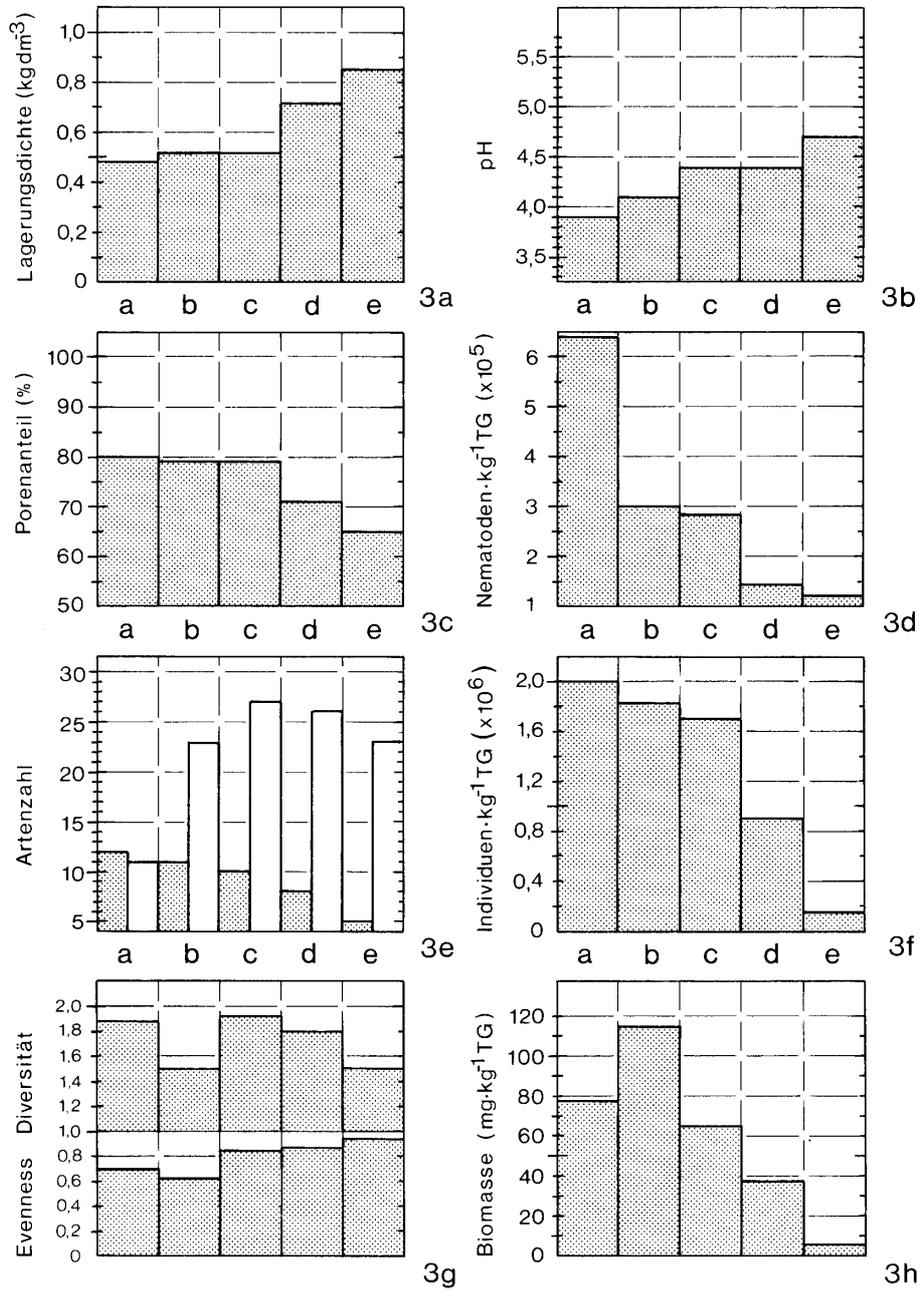


Abbildung 3 a–h: Zusammenstellung verschiedener abiotischer und zöologischer Parameter in Abhängigkeit von der Bodenverdichtung. (a) und (b) unverdichtet, (c) 10 %, (d) 30 % und (e) 50 % verdichtet. 3a: Lagerungsdichte. 3b: pH-Wert. 3c: Porenanteil. 3d: Abundanz der Nematoden. 3e: Artenzahl der Testaceen (grau) und Ciliaten (weiß). 3f: Abundanz der Testaceen. 3g: Diversität (oben) und Evenness (unten) der Testaceenzönose. 3h: Biomasse der Testaceen.

Tabelle 2: Artenbestand, Artenzahl, Konstanz (K) und Individuendominanz (ID) der Testaceen in den Proben (a) bis (e). + = nachgewiesen, - = nicht nachgewiesen

Species	belebt & unbelebt					belebt					K (%)	
	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e		
<i>Centropyxis aerophila</i> var. <i>sphagnicola</i>												
DEFLANDRE	+	+	+	+	+	26,7	56,0	25,9	32,0	24,5	100	
<i>Phryganella acropodia</i> (HERTWIG & LESSER)	+	+	+	+	+	19,9	14,9	19,1	19,0	23,2	100	
<i>Trinema lineare</i> PENARD	+	+	+	+	+	18,3	6,8	20,5	15,6	31,4	100	
<i>Trinema complanatum</i> PENARD	+	+	+	+	+	9,5	8,0	13,9	5,9	10,3	100	
<i>Euglypha laevis</i> (EHRENBERG)	+	+	+	+	+	6,4	5,2	6,0	11,3	10,6	100	
<i>Schoenbornia humicola</i> (SCHÖNBORN)	+	+	+	+	+	14,7	4,7	6,0	11,9	0,0	80	
<i>Euglypha rotunda</i> WAILES & PENARD	+	+	+	+	-	0,4	0,9	2,0	2,1	0,0	80	
<i>Corythion dubium</i> TARANEK	+	+	-	+	+	0,8	0,4	0,0	2,2	0,0	80	
<i>Schoenbornia visicula</i> SCHÖNBORN	+	+	+	-	-	1,6	0,3	2,4	0,0	0,0	60	
<i>Euglypha ciliata</i> (EHRENBERG)	+	+	+	-	-	0,3	0,8	3,4	0,0	0,0	60	
<i>Cyclopyxis eunystoma</i> DEFLANDRE	+	+	+	-	-	0,0	2,0	0,8	0,0	0,0	40	
<i>Nebela parvula</i> CASH	+	+	-	-	+	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	20	
<i>Plagiopyxis declivis</i> THOMAS	+	-	-	-	-	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	20	
<i>Assulina moscorum</i> GREEFF	+	+	-	-	+	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	
Gesamtartenzahl	14	13	10	8	9	12	11	10	8	5		

Abbildung 4c). Die Abmessungen von *Centropyxis aerophila* var. *sphagnicola*, *Phryganella acropodia* und *Trinema lineare* sind in den unverdichteten und verdichteten Proben nicht signifikant verschieden. Die Individuen von *Trinema complanatum* sind dagegen in (e) signifikant kleiner als in (c) (Abbildung 5a, b). Das Verhältnis von belebten/unbelebten Schalen beträgt in (a) 1:2,2, in (e) dagegen 1:3,9 (Tabelle 3).

Tabelle 3: Artenzahl (AZ), Abundanz (I/1.000gTG und I/m²), Biomasse (BM in mg/1.000gTG und mg/m²), Diversität (H), Evenness (E) und Verhältnis von belebten/unbelebten Schalen der Testaceen. TG = Trockengewicht. Nur belebte Schalen berücksichtigt. I = Individuen.

Probe	Wert	AZ	I/1.000gTG (x10 ⁶)	I/m ² (x10 ⁶)	BM (mg/1.000gTG)	BM (mg/m ²)	H	E	belebt/ unbelebt
a	\bar{x}	8,3	2,010	48,76	76,8	1.862	1,876	0,755	1:2,2
	min	7,0	1,552	46,25	66,7	1.714			1:1,7
	max	9,0	2,676	50,04	91,7	1.987			1:3,4
b	\bar{x}	8,3	1,816	47,14	114,9	2.981	1,487	0,620	1:1,7
	min	7,0	1,508	42,90	84,4	2.401			1:1,5
	max	10,0	2,158	51,62	135,0	3.908			1:1,9
c	\bar{x}	7,6	1,709	43,93	64,8	1.665	1,922	0,835	1:2,1
	min	6,0	1,207	34,16	33,5	948			1:1,4
	max	9,0	2,236	47,29	93,7	2.628			1:3,9
d	\bar{x}	6,7	0,906	32,28	37,3	1.327	1,799	0,865	1:2,7
	min	5,0	0,494	22,23	10,3	463			1:2,4
	max	8,0	1,416	39,01	66,0	1.818			1:2,9
e	\bar{x}	3,3	0,151	6,41	5,3	224	1,519	0,945	1:3,9
	min	2,0	0,111	4,60	1,1	45			1:3,6
	max	5,0	0,211	9,73	7,9	364			1:4,2

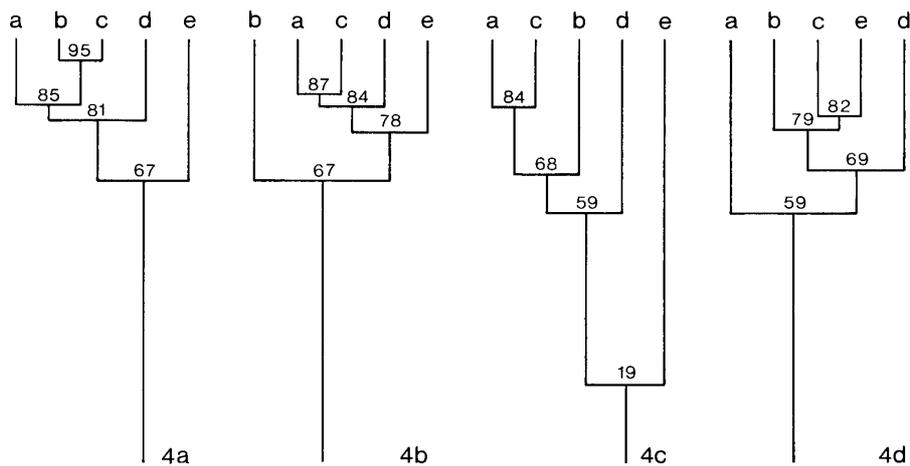


Abbildung 4a–d: Artenidentität, Dominanzidentität und Bray und Curtis Index der Testaceen und Ciliaten. 4a: Artenidentität der Testaceen. 4b: Dominanzidentität der Testaceen. 4c: Arten-Abundanzidentität der Testaceen. 4d: Artenidentität der Ciliaten. Alle Angaben in %.

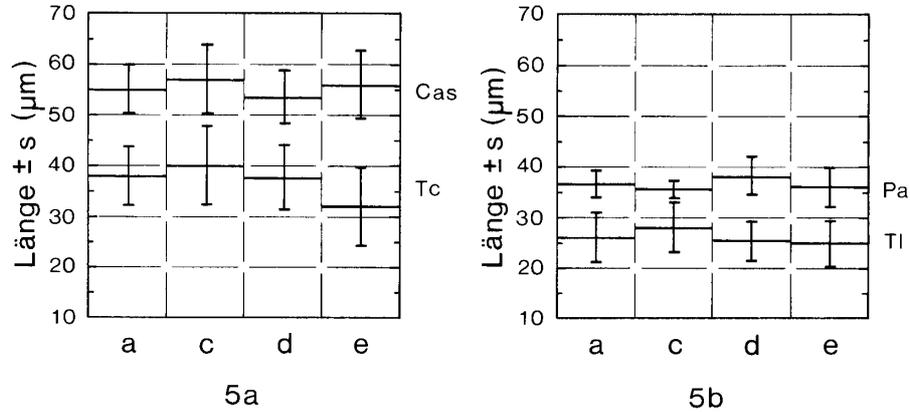


Abbildung 5a,b: Schalenlänge von 4 eukonstanten Testaceenspecies in Abhängigkeit von der Bodenverdichtung. 5a: Cas = *Centropyxis aerophila* var. *sphagnicola* ($n_a = 31$; $n_c = 32$; $n_d = 33$; $n_e = 22$). Tc = *Trinema complanatum* ($n = 14$; 31; 19; 8). 5b: Pa = *Phryganella acropodia* ($n = 33$; 24; 21; 16). TI = *Trinema lineare* ($n = 31$; 32; 33; 17). Länge von *Trinema complanatum* in (c) und (e) signifikant verschieden. (t-Test, $p \leq 0.05$). n = Stichprobenumfang.

3.3. Ciliaten

Aktive Ciliaten sind nur in den Probenreihen (a), (d) und (e) nachweisbar (Tabelle 1). Die qualitative Untersuchung erbringt insgesamt 37 Species (Tabelle 4). In (a) treten signifikant weniger Arten auf als in den übrigen Proben (Abbildung 3e, Tabelle 5). Zehn Arten sind in allen Probenreihen vorhanden, 5 fehlen nur in (a) (Tabelle 4). Hinsichtlich der Artenidentität unterscheidet sich (a) von den übrigen Proben sehr deutlich (Abbildung 4d).

Tabelle 4: Artenbestand und Artenzahl der Ciliaten in den Proben (a) bis (e).
+ = nachgewiesen, - = nicht nachgewiesen.

Species	Proben				
	a	b	c	d	e
<i>Colpoda aspera</i> KAHL	+	+	+	+	+
<i>Colpoda henneguyi</i> FABRE-DOMERGUE	+	+	+	+	+
<i>Colpoda inflata</i> STOKES	+	+	+	+	+
<i>Gonostomum affine</i> (STEIN)	+	+	+	+	+
<i>Grossglockneria acuta</i> FOISSNER	+	+	+	+	+
<i>Nivaliella plana</i> FOISSNER	+	+	+	+	+
<i>Paracolpoda steinii</i> (MAUPAS)	+	+	+	+	+
<i>Perisincirra gellerti</i> FOISSNER	+	+	+	+	+
<i>Pseudocryptolophosis alpestris</i> FOISSNER	+	+	+	+	+
<i>Pseudoplatyophrya nana</i> (KAHL)	+	+	+	+	+
<i>Calpoda cucullus</i> O.F.MÜLLER	+	-	+	-	+
<i>Cyclidium glaucoma</i> O.F.MÜLLER	-	+	+	+	+

Tabelle 4 (Fortsetzung):

Species	Proben				
	a	b	c	d	e
<i>Histiculus muscorum</i> KAHL	-	+	+	+	+
<i>Keronopsis muscicola</i> (KAHL)	-	+	+	+	+
<i>Leptopharynx costatus</i> MERMOD	-	+	+	+	+
<i>Sathrophilus muscorum</i> (KAHL)	-	+	+	+	+
<i>Gonostomum franzi</i> FOISSNER	-	+	+	-	+
<i>Platyophrya vorax</i> KAHL	-	+	+	-	+
<i>Blepharisma hyalinum</i> PERTY	-	+	+	-	-
<i>Plagiocampa</i> sp.	-	+	+	-	-
<i>Spathidium muscorum</i> DRAGESCO & DRAGESCO-KERNEIS	-	+	+	-	-
<i>Holosticha sigmoidea</i> FOISSNER	-	+	-	-	+
<i>Cyrtolophosis mucicola</i> STOKES	-	+	-	-	-
<i>Dileptus breviprobooscis</i> FOISSNER	-	+	-	-	-
<i>Bryometopus pseudochilodon</i> KAHL	-	-	+	+	+
<i>Protospathidium serpens</i> (KAHL)	-	-	+	+	+
<i>Tachysoma perisincirra</i> HEMBERGER	-	-	+	+	+
<i>Dileptus terrenus</i> FOISSNER	-	-	+	+	-
<i>Holosticha adami</i> FOISSNER	-	-	+	+	-
<i>Oxytricha setigera</i> STOKES	-	-	+	-	-
<i>Cyrtolophosis acutus</i> KAHL	-	-	-	+	-
<i>Perisincirra gracilis</i> FOISSNER	-	-	-	+	-
<i>Pseudochilodonopsis mutabilis</i> FOISSNER	-	-	-	+	-
<i>Pseudoplatyophrya terricola</i> FOISSNER	-	-	-	+	-
<i>Spathidium muscicola</i> KAHL	-	-	-	+	-
<i>Urosomoida agilis</i> ENGELMANN	-	-	-	+	-
<i>Uroleptooides quadrinucleata</i> FOISSNER	-	-	-	-	+
Artenzahl: gesamt	11	23	27	26	23
\bar{x}	6	15	17	15	15
min	6	14	15	11	11
max	7	16	18	20	20

Tabelle 5: X²-Test für die Abundanzen der Testaceen und Nematoden und für die Artenzahl der Testaceen und Ciliaten. + = signifikanter Unterschied (p≤0,05).

Taxozönose Parameter	X ² -Test zwischen den Proben									
	a/b	a/c	a/d	a/e	b/c	b/d	b/e	c/d	c/e	d/e
Testacea	Artenzahl	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Testacea	Abundanz	-	-	+	+	-	+	+	+	+
Ciliophora	Artenzahl	+	+	+	+	-	-	-	-	-
Nematoda	Abundanz	+	+	+	+	-	+	+	+	-

3.4. Rotatorien, Nematoden

Die meisten Rotatorien treten in (a) auf, in (e) sind keine nachweisbar. Die übrigen Werte streuen stark (Tabelle 1).

Bei den Nematoden ist die Abundanz in (a) mehr als doppelt so groß wie in (b) (Abbildung 3d, Tabelle 1). Die Proben (b) und (c) besitzen eine signifikant höhere Abundanz als (d) und (e) (Tabelle 5).

4. DISKUSSION

Die mit den Verdichtungskammern vorgenommenen Volumsverkleinerungen (Sakungsverdichtung, SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 1979) von ca. 10 % (c), 30 % (d) und 50 % (e) führen zu starken Änderungen der Lagerungsdichte (max. +75 % in (e)). HOFFMANN und PFITSCHER (1982) geben für Schipisten und Wanderwege Lagerungsdichten an, die um ca. 20 % größer sind als jene von landwirtschaftlich genutzten Almweiden. Der funktionale Zusammenhang von Bodendichte und Porenvolumen (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 1979) führt mit steigender Lagerungsdichte zu einem abnehmenden Porenanteil, der jedoch in (e) noch immer 81 % des Wertes von (a) beträgt. Diese Abnahme entsteht durch die Verringerung des Sekundär- und Grobporenanteils. Die gleichen Lagerungsdichten in (b) und (c) ergeben sich offensichtlich durch Inhomogenitäten des Bodens. Die Unterschiede im Wassergehalt treten deutlich hervor, sind aber geringer als jene zwischen Almweide und Schipiste (FOISSNER und ADAM 1980, FOISSNER et al. 1982), was erklärlich ist, da auf den planierten Schipisten die wasserspeichernde Humusschicht fehlt, während sie im vorliegenden Experiment verdichtet wurde. Der von FOISSNER et al. (1982) und VERGEINER et al. (1982) festgestellte pH-Anstieg mit zunehmendem Störungseinfluß ist auch hier auffallend, bei FOISSNER et al. (1982) allerdings sicher zum Teil durch Aufkalkung verursacht (s. PEER und FOISSNER 1984). Neben den zahlreichen Faktoren, die das pH von Böden beeinflussen (z.B. Kationenbelag, Anwesenheit von Karbonaten und leichter löslichen Salzen, Basensättigung, Redoxpotential und CO₂-Partialdruck, s. SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 1979, HAGVAR und ABRAHAMSEN 1980) könnte das durch den verringerten Porenanteil eingeschränkte bzw. verhinderte Pflanzenwachstum und die damit verbundene fehlende Nachlieferung von organischer Substanz eine Ursache für diesen pH-Anstieg sein.

Der von uns festgestellte starke Rückgang der Artenzahl der Testaceen (statistisch nicht signifikant, $p \leq 0,05$; der Test ist aber aufgrund der geringen absoluten Werte kaum aussagekräftig) mit zunehmendem Störungseinfluß ist auch auf Schipisten \pm auffallend und betrifft vor allem Arten, die bereits bei ungestörten Verhältnissen selten sind (FOISSNER und ADAM 1980, LAMINGER et al. 1980, FOISSNER et al. 1982, VERGEINER et al. 1982). Größere Formen wie *Nebela* spp. und *Plagiopyxis* spp., die auch Anzeiger für stark sauren Humus sind, kommen nur in den unverdichteten Proben mit dem niedrigsten pH vor (SCHÖNBORN 1973, LAMINGER et al. 1980). FOISSNER et al. (1982) fanden aber ein gleiches Durchschnittsvolumen der Testaceen und Ciliaten auf Almweide und Schipiste. Die Abundanzen der kleinen Arten (z.B. *Trinema lineare*, *Euglypha laevis*) gehen weniger stark zurück als die der großen (z.B. *Centropyxis aerophila* var. *sphagnicola*). Dazu paßt die Beobachtung, daß

von den 4 vermessenen Species immerhin eine in (e) signifikant kleiner ist als in (c). Daraus ist zu folgern, daß durch die Bodenverdichtung kleinere Arten relativ weniger beeinflußt werden als größere.

Deutlicher als der Artenverlust ist die Abnahme der Abundanz, die bezogen auf das Trockengewicht zwischen (a) und (d) 55 % und zwischen (a) und (e) 92 % beträgt. Nach verschiedenen Autoren schwankt sie zwischen 70 % und 90 % (FOISSNER und ADAM 1980: 70 % in 0 bis 5 cm, LAMINGER et al. 1980: 90 % in 0 bis 2 cm, FOISSNER et al. 1982: 90 % in 0 bis 5 cm, VERGEINER et al. 1982: 85 % in 0 bis 2 cm). Bei einer Umrechnung der Individuendichte auf m^2 und folglich unter Berücksichtigung der Lagerungsdichte kommt es zu etwas weniger ausgeprägten Werten von 34 % zwischen (a) und (d) und 87 % zwischen (a) und (e). COÛTEAUX (pers. Mitt.) ermittelt für den Auflagehorizont eines Weges eine um ca. 30 % geringere Testaceendichte (l/m^2) als in der Referenzfläche. In den darunter liegenden Horizonten findet sie jedoch im gestörten Bereich mehr Individuen als im ungestörten, wie dies auch schon von FOISSNER und ADAM (1980) auf Schipisten beobachtet wurde, später allerdings weniger stark ausgeprägt (FOISSNER et al. 1982). Einen Artenverlust stellt COÛTEAUX (pers. Mitt.) aber nicht fest.

Der verringerte Sekundär- und Grobporenanteil verbunden mit dem verminderten Wassergehalt dürften wesentliche Ursachen für die Verarmung der Testaceengemeinschaft sein (BAMFORTH 1973, LOUSIER 1974 a,b, SCHEFFER und SCHACHT-SCHABEL 1979). Der mit zunehmendem Störungseinfluß größer werdende Anteil von unbelebten Schalen ist offensichtlich ebenfalls die Folge des geänderten Wasserhaushaltes und einer reduzierten biologischen Aktivität (FOISSNER und ADAM 1980, LOUSIER und PARKINSON 1981, FOISSNER et al. 1982, VERGEINER et al. 1982).

Die Abundanz der aktiven Ciliaten ist wie erwartet sehr gering (FOISSNER 1981 a). FOISSNER und ADAM (1980) und FOISSNER et al. (1982) finden im Störungszentrum einer planierten Schipiste mehr aktive Ciliaten als in den unbeeinflussten Almflächen. Dieser Trend zeigt sich auch in diesem Experiment (Tabelle 1). Es besteht also Grund zu der Annahme, daß die in natürlichen alpinen Böden mit sehr geringer Abundanz vorkommenden aktiven Ciliaten auf einen „störenden“ Faktor (z.B. Bodenverdichtung) positiv reagieren, worauf auch neuere Ergebnisse von FOISSNER (1984) hinweisen. Die mit der Kulturmethode (!) ermittelten, gegenüber (a) mehr als doppelt so hohen Artenzahlen in den Probenserien (b) bis (e) zeigen, daß die Ciliaten zumindest qualitativ auf den Kammerfaktor und nicht auf die Verdichtung reagieren. Dies bringt auch die Artenidentität zum Ausdruck (Abbildung 4d, Tabelle 4). Die Ursache für diese auffallende Reaktion auf einen „scheinbar“ unbedeutenden Einfluß (Kammerfaktor) ist uns nicht bekannt. Zweifellos sind bei der Interpretation dieser Resultate die methodischen Schwierigkeiten bei der Bestimmung der Artenspektren zu beachten. Es kann mit Recht angenommen werden, daß innerhalb des sehr kleinen Versuchsareals keine wesentlichen Unterschiede in der Artenzahl bestehen. Offensichtlich werden durch die Kulturmethode die Ciliaten in gestörten Böden (Kammerfaktor) mehr in ihrer Entwicklung gefördert als in ungestörten. Die Werte zwischen den Proben (b) bis (e) sind nur wenig verschieden und lassen keine Abhängigkeit von der Bodenverdichtung erkennen, was einen deutlichen Unterschied zu den Testaceen darstellt (Abbildung 4a, d). FOISSNER und ADAM (1980) und FOISSNER et al. (1982) stellen zwischen Almweide und verdichteter Schipiste ebenfalls keine signifi-

kanten Unterschiede in der Artenzahl fest, doch lassen sich die verschiedenen Biotope mit der Artenidentität auftrennen (FOISSNER und PEER 1984). Im Vergleich zu den Testaceen scheinen die Ciliaten empfindlicher, aber weniger differenziert auf einen Störungsfaktor zu reagieren. Dies bedarf jedoch weiterer Untersuchungen.

Wenig ausgeprägt ändert sich die Besiedlungsdichte der Rotatorien, was sich mit den Ergebnissen von FOISSNER et al. (1982) deckt. Das Fehlen dieser Gruppe in (e) könnte auf die starke Reduktion von besiedelbaren Hohlräumen zurückzuführen sein. Die Abundanz der Nematoden in der ungestörten Probe (a) zeigt eine gute Übereinstimmung mit den Werten aus früheren Untersuchungen (FOISSNER et al. 1982). Die von ihnen ermittelte Individuendichte für die geplante Schipiste liegt mit ca. 87.000 I/1.000gTG in derselben Größenklasse wie die für (d) und (e) bestimmten Werte (140.000 und 120.000 I/1.000gTG). Die Nematoden reagieren also auf die Bodenverdichtung und die damit verbundenen Änderungen des abiotischen Faktorengfügiges mit einer auffallenden Abnahme der Abundanz (ELLIOT et al. 1980). Der signifikante Einfluß des Kammerfaktors läßt sogar vermuten, daß sich bereits geringste Veränderungen auswirken, was einer Kombination der Reaktionen der Protozoen gleichkommt.

ZUSAMMENFASSUNG UND FOLGERUNGEN

Mit einer speziellen Kammer wurde der Einfluß der Bodenverdichtung auf die Struktur der Testaceen- und Ciliatentaxozönose untersucht. Das Volumen der obersten Bodenschicht (0 bis 5 cm) einer Almweide (ca. 1.965 m ü.d.M.) wurde um 10 % (c), 30 % (d) und 50 % (e) verringert. Die unbeeinflusste Almweide war die Referenzprobe (a). Probe (b) diente zur Bestimmung des Kammerfaktors. Die Kammern wurden 3 Monate an derselben Stelle exponiert. Die Testaceen reagieren auf die zunehmende Bodenverdichtung mit einem Verlust der rezedenten Arten und einer kontinuierlichen Abnahme der Abundanz. *Centropyxis aerophila* var. *sphagnicola* ist in (a) bis (d), *Trinema lineare* in (e) die häufigste Species. Die Artenzahl und die Abundanz zeigen eine signifikante negative Korrelation mit der Lagerungsdichte. Der Anteil der unbelebten Schalen nimmt von (a) nach (e) zu. *Trinema complanatum* ist in (e) signifikant kleiner als in (c). Daraus ist zu folgern, daß durch die Bodenverdichtung kleinere Arten relativ weniger beeinflusst werden als größere. Die meisten aktiven Ciliaten treten in (d) auf. Qualitativ läßt sich ein signifikanter Einfluß des Kammerfaktors auf die Artenzahl der Ciliaten nachweisen (Kulturmethode!). Zwischen (b) bis (e) treten jedoch keine Unterschiede auf. Die Nematoden verhalten sich quantitativ ähnlich wie die Testaceen. Das pH zeigt eine signifikante positive Korrelation mit der Lagerungsdichte. Die Verringerung des Porenvolumens und des Wassergehaltes dürften die wesentlichen Ursachen für die Veränderungen der Zönosen sein. Die Resultate unserer experimentellen Untersuchungen stimmen weitgehend mit den feldökologischen Befunden an Schipisten überein. Terrestrische Protozoen sind daher brauchbare Bioindikatoren. Die Ciliaten scheinen empfindlicher, aber weniger selektiv auf einen störenden Einfluß zu reagieren als die Testaceen.

DANK

Für die Anregung zu dieser Arbeit danken wir Herrn Univ.-Prof. Dipl.Ing. DDr. Herbert FRANZ, der sie aus dem Projekt 2.794 „Dynamik der Hochgebirgsböden“ des Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung auch finanziell unterstützte.

LITERATUR

- BAMFORTH, S.S. (1973) Population dynamics of soil and vegetation protozoa. Amer. Zool., 13, S. 171–176.
BARTEL, H. (1978): Statistik II für Psychologen, Pädagogen und Sozialwissenschaftler. Gustav Fischer, Stuttgart & New York, 203 S.150

- BRAY, J.R. und J.T. CURTIS (1957): An ordination of the upland forest communities in southern Wisconsin. *Ecol. Monogr.*, 27, S. 325–349.
- BRYANT, R.J., L.E. WOODS, D.C. COLEMAN, B.C. FAIRBANKS, J.F. McCLELLAN und C.V. COLE (1982): Interactions of bacterial and amoebal populations in soil microcosms with fluctuating moisture content. *Appl. & Environm. Microbiol.*, 43, S. 747–752.
- BUITKAMP, U. (1979): Vergleichende Untersuchungen zur Temperaturadaption von Bodenciliaten aus klimatisch verschiedenen Regionen. *Pedobiologia*, 19, S. 221–236.
- DESHMUKH, V.A. und J.G. SHRIKHANDE (1974): Effect of herbicide on protozoa in the soil. *Indian J. Microbiol.*, 14, S. 167.
- ELLIOT, E.T., R.V. ANDERSON, D.C. COLEMAN und C.V. COLE (1980): Habitable pore space and microbial trophic interactions. *Oikos*, 35, S. 327–335.
- FOISSNER, W. (1980): Colpodide Ciliaten (Protozoa: Ciliophora) aus alpinen Böden. *Zool. Jb. Syst.*, 107, S. 391–432.
- (1981 a): Die Gemeinschaftsstruktur der Ciliatenzönose in alpinen Böden (Hohe Tauern, Österreich) und Grundlagen für eine Synökologie der terricolen Ciliaten (Protozoa, Ciliophora). *Veröff. Österr. MaB-Hochgebirgsprogramms Hohe Tauern*, 4, S. 7–52.
 - (1981 b): Morphologie und Taxonomie einiger neuer und wenig bekannter kinetofragminophorer Ciliaten (Protozoa: Ciliophora) aus alpinen Böden. *Zool. Jb. Syst.*, 108, S. 264–297.
 - (1981 c): Morphologie und Taxonomie einiger heterotricher und peritricher Ciliaten (Protozoa: Ciliophora) aus alpinen Böden. *Protistologica*, 17, S. 29–43.
 - (1982): Ökologie und Taxonomie der Hypotrichida (Protozoa: Ciliophora) einiger österreichischer Böden. *Arch. Protistenk.*, 126, S. 19–143.
 - (1984): Protozoologische Untersuchungen an Almböden im Gasteiner Tal (Zentralalpen, Österreich). III. Struktur und Dynamik der Testaceen- und Ciliatenzönose. *Veröff. Österr. MaB-Hochgebirgsprogramms Hohe Tauern* (in diesem Band).
 - und H. ADAM (1980): Abundanz, Vertikalverteilung und Artenzahl der terrestrischen Ciliaten und Testaceen einer Almweide und einer Schipiste auf der Schloßalm bei Bad Hofgastein (Österreich). *Zool. Anz.*, 205, S. 181–187.
 - (1981) Die Gemeinschaftsstruktur und Produktion der terricolen Testaceen (Protozoa, Rhizopoda) in einigen Böden der Österreichischen Zentralalpen (Hohe Tauern, Glocknergebiet). *Veröff. Österr. MaB-Hochgebirgsprogramms Hohe Tauern*, 4, S. 53–78.
 - , H. FRANZ und H. ADAM (1982): Terrestrische Protozoen als Bioindikatoren im Boden einer planierten Skipiste. *Pedobiologia*, 24, S. 45–56.
 - und T. PEER (1984): Protozoologische Untersuchungen an Almböden im Gasteiner Tal (Zentralalpen, Österreich). I. Charakteristik der Taxotope, Faunistik und Autökologie der Testacea und Ciliophora. *Veröff. Österr. MaB-Hochgebirgsprogramms Hohe Tauern* (in diesem Band).
- HAGVAR, S. und G. ABRAHAMSEN (1980): Colonisation by Enchytraeidae, Collembola und Acari in sterile soil samples with adjusted pH levels. *Oikos*, 34, S. 245–258.
- HEMBERGER, H. (1982): Revision der Ordnung Hypotrichida Stein (Ciliophora, Protozoa) an Hand von Protargolpräparaten und Morphogenesedarstellungen. Dissertation, Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität, Bonn, 297 S.
- und N. WILBERT (1982): Revision der Familie Keronidae Dujardin, (Ciliophora, Hypotrichida) mit einer Beschreibung der Morphogenese von *Kerona polyporum* Ehrenberg, 1835. *Arch. Protistenk.*, 125, S. 261–270.
- HOFMANN, J. und A. PFITSCHER (1981): Veränderungen der mikrobiellen Aktivität in Böden unter Skipisten und Wanderwegen. *Pedobiologia*, 23, S. 105–111.
- KAHL, A. (1930–1935): Urtiere oder Protozoa. I. Wimpertiere oder Ciliata (Infusoria). In F. DAHL (ed): Die Tierwelt Deutschlands. G. Fischer, Jena, 886 S.
- LAMINGER, H., K. GEISLER-MORODER, A. SIESS, E. SPISS und B. SPISS (1980): Populationsdynamik terrestrischer Protozoen (Testacea, Rhizopoda) in zentralalpinen Lagen Tirols. I. Untersuchungen subalpiner Böden im Raum Obergurgl (Tirol/Österreich). *Arch. Protistenk.*, 123, S. 280–323.
- LOUSIER, J.D. (1974 a): Response of soil testacea to soil moisture fluctuations. *Soil. Biol. Biochem.*, 6, S. 235–239.
- (1974 b): Effects of experimental soil moisture fluctuations on turnover rates of testacea. *Soil Biol. Biochem.*, 6, S. 19–26.
 - und D. PARKINSON (1981): The disappearance of the empty tests of litter- and soil-testate amoebae (Testacea, Rhizopoda, Protozoa). *Arch. Protistenk.*, 124, S. 312–336.
- MÜHLENBERG, M. (1976): Freilandökologie. Quelle & Meyer, Heidelberg. 214 S.
- PEER, T. und W. FOISSNER (1984): Protozoologische Untersuchungen an Almböden im Gasteiner Tal (Zentralalpen, Österreich). II. Bodenkundliche Analysen mit besonderer Berücksichtigung der stark belebten Zone. *Veröff. Österr. MaB-Hochgebirgsprogramms Hohe Tauern* (in diesem Band).
- RENKONEN, O. (1938): Statistisch-ökologische Untersuchungen über die Käferwelt der finnischen Bruchmoore. *An. Zool. Soc. Zool-Bot. Fenn. Vanamo*, 6, S. 1–231.
- ROGERSON, A und J. BERGER (1981): The effects of cold temperatures and crude oil on the abundance and activity of protozoa in a garden soil. *Can. J. Zool.*, 59, S. 1.554–1.560.
- SACHS, L. (1979): Statistische Methoden. Springer V., Berlin, Heidelberg, New York. 105 S.
- SCHAEFFER, F. und P. SCHACHTSCHABEL (1979): Lehrbuch der Bodenkunde. F. Enke V., Stuttgart. 394 S.
- SCHÖNBORN, W. (1973): Humusform und Testaceen-Besatz. *Pedobiologia*, 13, S. 353–360.
- SCHWERDTFEGGER, F. (1975): Synökologie. P. Parey, Hamburg und Berlin. 451 S.
- SØRENSEN, T.A. (1948): A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content, and its application to analyses of the vegetation on Danish commons. *K. dan. Vidensk. Selsk. Biol. Skr.*, 5, S. 1–34.
- STOUT, J.D. (1956): Reaction of ciliates to environmental factors. *Ecology*, 37, S. 178–191.

VERGEINER, J., H. LAMINGER, C. JAITNER-KNADEN und H. BAYER (1982): Populationsdynamik terrestrischer Protozoen (Testacea, Rhizopoda) in zentralalpinen Lagen Tirols. II. Untersuchungen gestörter und relativ ungestörter Böden im Raume Patsch (Tirol, Österreich). Arch. Protistenk., 126, S. 173–201.

Anschrift der Verfasser: Helmut BERGER,
Univ.-Doz. Dr. Wilhelm FOISSNER
Univ.-Prof. Dr. Hans ADAM
Zoologisches Institut der Universität Salzburg
Akademiestraße 26
A-5020 Salzburg
und Forschungsinstitut Gastein-Tauernregion
Badbergstraße
A-5640 Badgastein.