Zool. Anz., Jena **205** (1980) 3/4, S. 181–187

Abundanz, Vertikalverteilung und Artenzahl der terrestrischen Ciliaten und Testaceen einer Almweide und einer Schipiste auf der Schloßalm bei Bad Hofgastein (Österreich)[1]

Abundance, Vertical Distribution, and Species Richness of Soil Ciliates and Testacea of an Alpine Pasture and a Ski Trail at the Schloßalm near Bad Hofgastein (Austria)

Von Wilhelm Foissner und Hans Adam

Zoologisches Institut der Universität Salzburg (Österreich)

Mit 2 Abbildungen und 4 Tabellen (Eingegangen am 5. November 1979)

Abstract

Abundance, vertical distribution, and species richness of soil ciliates and testacea of a ski trail and a neighbouring alpine pasture were investigated. The abundance of active ciliates was very low in the virgin soils; but culture methods produced high individual densities in some samples. The abundance of the ciliates and testacea was strongly reduced in the area of vehement skiing. This is probably due to the changed soil conditions and the disturbed water balance. Both sites showed a remarkable decrease of the population density in 5...10 cm depth. There were comparatively small differences in species richness between the alpine pasture and the ski trail. This indicates that skiing does not cause severe changes in species composition. These preliminary results indicate that the structure of the protozoan community will soon return to a normal state, if the ski trail is recultivated with plants.

Einleitung

Almweiden werden im Winter häufig als Schipisten genutzt. Bei intensiver Befahrung stellen sich aber schwere Schäden im Boden und der Flora und Fauna ein, die schließlich die wirtschaftliche Nutzung und das Landschaftsbild stark beeinträchtigen (Cernusca 1977). Daher waren Schipisten und aufgelassene Almen in neuerer Zeit wiederholt Gegenstand ausführlicher ökologischer Analysen, um Strategien zu erarbeiten, die diese Schäden auf ein Mindestmaß reduzieren (Cernusca 1977, 1978). Die zoologischen Untersuchungen im Bereich von Schiabfahrten sind noch sehr lückenhaft. Erste Befunde weisen auf ausgeprägte Strukturveränderungen der Arthropodenfauna unbegrünter Schipisten hin (Cernusca 1977). Auch die Protozoen dieses anthropogen beeinflußten Biotops wurden bisher noch nicht studiert. In der vorliegenden Arbeit werden die Ergebnisse einer diesbezüglichen Pilotstudie auf einer Schipiste der Schloßalm bei Bad Hofgastein mitgeteilt. Als Referenzpunkt diente eine Almweide außerhalb des Pistenbereiches.

[1] Mit dankenswerter Unterstützung des MaB-6-Programms der Österreichischen Akademie der Wissenschaften und des Forschungsinstitutes Gastein.

Abkürzungen

Folgende Abkürzungen werden im Text und in den Abbildungslegenden verwendet: BT – Bodentiefe (untersuchter Horizont), I – Individuen, SO – Standort (Probenahmeort), TG – Trockengewicht.

Lage und Charakterisierung der Standorte

Die Proben wurden am 24. 7. 1979 etwa 150 m nordwestlich des Hotels auf der Bergstation Schloßalm bei Bad Hofgastein (Salzburg, Österreich) entnommen. Hier beginnt in einer östlich verlaufenden, mäßig steil abfallenden Mulde eine seit vielen Jahren intensiv befahrene, etwa 80 m breite Schipiste. Ihre Abgrenzung zu der sie umgebenden Almweide ist wegen der stark veränderten pedologischen und floristischen Verhältnisse klar ersichtlich. Genauere geologische und vegetationskundliche Angaben zu den unten beschriebenen SO finden sich bei Bunza (1978) und Spatz et al. (1978).

SO 1: Almweide, etwa 50 m nördlich der Schipiste. Seehöhe etwa 2000 m. Almweidevegetation, Borstgrasrasen (*Nardetum alpigenum-alpinum*) mit kurzen Zwergsträuchern. Bodentyp: pseudovergleyte colluviale Braunerde. 0...5 cm: stärkst durchwurzelt, stärkst humos, Mull, schwarzbraun, mäßig stark mit aufgemürbtem Glimmerschiefer durchsetzt. 5...10 cm: stark durchwurzelt, mäßig humos, braunrot, stark mit aufgemürbtem Glimmerschiefer durchsetzt.

SO 2: Störungszentrum (Spatz 1978) der Schipiste. Seehöhe etwa 2000 m. Pflanzendecke und obere Bodenschicht durch mechanische Schädigung weitgehend zerstört. Vereinzelt Rasenschollen und mäßig häufig Moose. 0...5 cm: mäßig stark durchwurzelt, humos, braunschwarz, stark mit fein- bis grobkörnigem Verwitterungsschutt der Glimmerschiefer und Granitgneise durchsetzt. 5...10 cm: gering durchwurzelt, wenig humos, braunschwarz mit grauen Flecken, sehr stark mit fein- bis grobkörnigem Verwitterungsschutt der Glimmerschiefer und Granitgneise durchsetzt.

Untersuchungstechnik

Zur Untersuchung auf aktive Protozoen wurden 4 etwa 5 × 5 cm große Bodenproben innerhalb eines Areals von 1 m^2 ausgestochen und anschließend gut durchmischt. Aus dieser Stammprobe entnahmen wir 5 Stichproben mit je ca. 0,02 g und wogen auf der Analysenwaage insgesamt genau 0,1 g ein. In dieser mit etwa 3 ml Wasser verdünnten, gut durchmischten Probe wurden anschließend direkt unter dem Mikroskop bei 100facher Vergrößerung die Abundanz und das Artenspektrum der Ciliaten und Testaceen ermittelt. 100 g der Stammprobe verwendeten wir zur Trockengewichtsbestimmung (14 Tage Lufttrocknung).

Die Ciliaten wurden zusätzlich mit der Methode von Buitkamp (1975, 1979) kultiviert. Die Abundanz wurde nach der Technik von Brunberg-Nielsen (1968) ermittelt.

Zur Bestimmung der Artenzahl der Ciliaten wurden außerdem in einer Petrischale mit 10 cm Durchmesser etwa 10 g luftgetrocknete Erde bis zur Sättigung mit Wasser angefeuchtet. Die Auswertung erfolgte so wie bei der Methode von Buitkamp (1979) nach 6 Tagen. Aus der wassergesättigten Bodenprobe wurde durch leichten Fingerdruck ein Teil des Wassers ausgepreßt. 4 Stichproben mit je ca. 0,1 ml wurden daraus entnommen und die darin vorkommenden Arten notiert.

Ergebnisse

Zum Artenspektrum werden keine näheren Angaben gemacht, da einige Species noch nicht genau determiniert werden konnten.

1. Ciliaten

In den frischen Bodenproben war die Abundanz von aktiven Ciliaten außerordentlich gering. In 0,1 g wurden am SO 2 in einer BT von 0...5 cm 4 Individuen und in 5...10 cm 1 Individuum festgestellt. Am SO 1 fanden wir in 0,1 g frischer Erde keine Ciliaten. Die folgenden Angaben beziehen sich daher auf die mit den oben angeführten Kulturmethoden gewonnenen Ergebnisse.

Die beiden SO zeigten vor allem hinsichtlich der Abundanzverhältnisse extreme Unterschiede (Abb. 1). Die Individuendichte war am SO 1 um rund 2 Potenzen höher als am SO 2. Die Siedlungsdichte wies an beiden SO eine rapide Abnahme in einer BT von 5...10 cm auf (Abb. 1).

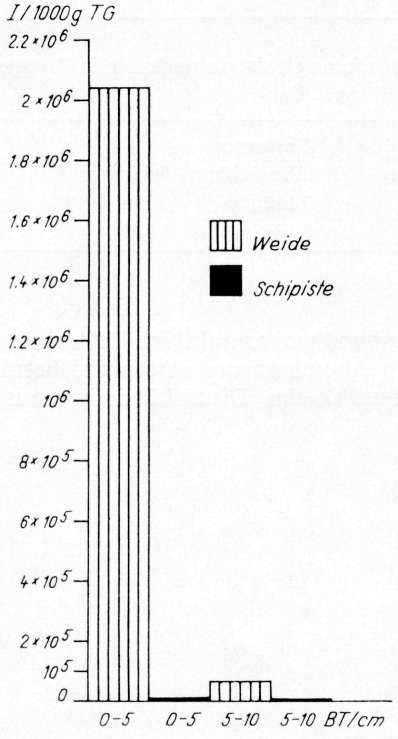

Abb. 1. Abundanz und Vertikalverteilung der Ciliaten

Die Unterschiede in der Gesamtartenzahl waren weniger auffallend (Tab. 1). Bei der Kulturmethode von Buitkamp (1979) waren sie jedoch gravierend, was möglicherweise daran lag, daß bei der zur Abundanzermittlung verwendeten Verdünnungsreihe für die sehr individuenarmen Proben vom SO 2 das Minemalareal nicht erreicht wurde. Im Artenspektrum fanden sich keine ausgeprägten Differenzen, mit Ausnahme der Gattung *Colpoda*, die am SO 1 mit 2 Arten vertreten war, von denen *Colpoda steinii* Individuendominanz aufwies. Am SO 2 wurde diese Gattung dagegen nicht festgestellt.

Diese Unterschiede im „Art-Individuenmuster" drücken sich auch deutlich im Diversitätsindex aus (Tab. 3).

Tabelle 1. Artenzahl der Ciliaten

Methode	n. Buitkamp (1979)		Petrischale		Gesamtartenzahl	
BT/cm	0...5	5...10	0...5	5...10	0...5	5...10
Almweide	10	4	10	4	12	6
Schipiste	2	1	9	6	9	6

Tabelle 2. Artenzahl der Testaceen

BT/cm	0...5	5...10
Almweide	15	6
Schipiste	11	2

Tabelle 3. Diversitätsindices. Die Berechnung erfolgte nach der in Tischler (1979) angegebenen Formel von Simpson

BT/cm	Ciliaten		Testaceen	
	Almweide	Schipiste	Almweide	Schipiste
0...5	0,282	0,444	0,112	0,174
5...10	0,202	1,0	0,184	0,641

2. Testaceen

In den frischen Bodenproben war die Abundanz von aktiven Testaceen verhältnismäßig hoch. Die beiden SO wiesen in Abundanz und Artenzahl beträchtliche Unterschiede auf, die sich ebenfalls deutlich im Diversitätsindex ausdrücken

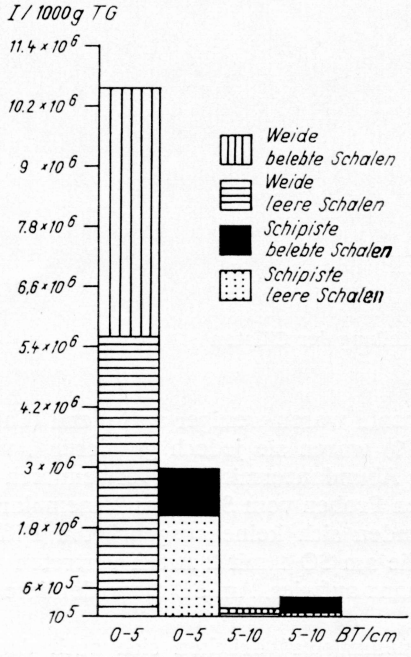

Abb. 2. Abundanz und Vertikalverteilung der Testaceen

(Tab. 3). Die Individuendichte war am SO 1 in 0...5 cm BT rund 5mal so groß als am SO 2. In 5...10 cm BT war sie dagegen am SO 2 rund 3mal so groß als am SO 1 (Abb. 2). Ähnlich wie bei den Ciliaten nahm die Siedlungsdichte in 5...10 cm BT stark ab (Abb. 2).

Die Artenzahl war am SO 2 im Vergleich zum SO 1 in 0...5 cm BT um 27% und in 5...10 cm BT um 67% vermindert (Tab. 2). Das Artenspektrum war aber an beiden Standorten sehr ähnlich. Der Verlust betraf seltenere Arten.

Diskussion

Der auffallendste Unterschied zwischen dem stark anthropogen beeinflußten SO 2 und dem „nur" durch Beweidung veränderten SO 1 findet sich sowohl bei den Ciliaten als auch den Testaceen in der Abundanz (Abb. 1, 2). Dies ist vermutlich in erster Linie darauf zurückzuführen, daß die sehr humusreiche, mulmige obere Bodenschicht am SO 1 eine starke Entfaltung der Bakterien ermöglicht, die eine wichtige Ernährungsquelle für die Protozoen sind. Das deckt sich mit den Befunden von Schinner (1978), der in der oberen Bodenschicht alpiner und subalpiner Böden eine hohe mikrobielle Biomasse feststellte. Das typische bakteriovore Ciliatengenus *Colpoda* war dementsprechend nur am SO 1 dominant. Die rapide Abnahme der Siedlungsdichte in 5...10 cm BT, die Thaler et al. (1978) auch bei Oribatiden feststellten, dürfte auf den abnehmenden Humusgehalt zurückzuführen sein. Ein weiterer wichtiger Faktor ist der veränderte Wasserhaushalt. In Folge der Abrasion der saugfähigen Humusschicht und der Pflanzendecke kann die obere Bodenschicht am SO 2 weniger Wasser binden und trocknet daher rascher aus. Das zeigen eindrucksvoll ein Vergleich der Trockengewichte (Tab. 4) und die Untersuchungen von Cernusca (1977). Vergleichbare Veränderungen der Abundanz und Diversität wurden bei der Arthropodenfauna unbegrünter Schipisten festgestellt (s. zusammenfassende Darstellung bei Cernusca 1977).

Tabelle 4. Trockengewichte/1000 g Frischgewicht

BT/cm	0...5	5...10
Almweide	410	680
Schipiste	655	680

Die fehlende Streuauflage, die mit ihrer Mikroflora und den Humuspartikeln für die Ernährung der Ciliaten und Testaceen wesentlich ist, und der gestörte Wasserhaushalt können nach den Untersuchungen von Schönborn (1965), Stout und Heal (1967) und Lousier (1974) als hemmende Faktoren für die Entfaltung der Protozoen im Bereich der Schipiste interpretiert werden. Damit korreliert gut die Beobachtung, daß die Siedlungsdichte der Ciliaten am SO 2 in 0...5 cm BT in der gleichen Größenordnung liegt wie am SO 1 in 5...10 cm BT (Abb. 1). Am SO 2 ist die Bodenbeschaffenheit in 0...5 cm BT ähnlich der vom SO 1 in 5...10 cm BT (s. Seite 182)! Die im Vergleich zu SO 1 höhere Abundanz der Testaceen am SO 2 in 5...10 cm BT ist vielleicht darauf zurückzuführen, daß sie wegen der grobporigen Bodenstruktur nach unten abrutschen, besonders im Gefolge heftiger Regenfälle. Es ist auch nicht auszuschließen, daß sich die Aktivität der Bodenprotozoen wegen der starken Befahrung weiter nach unten verlagert hat. Dabei ist vor allem an die mechanische Beanspruchung und an ungünstige Einflüsse durch Schiwachs und Pistenpflege zu denken (Thaler 1977). Der am SO 2 im Vergleich zum SO 1 stark erhöhte Anteil unbelebter Schalen weist auf ein herabgesetztes Dekompostierungsvermögen des Bodens hin.

Die im Vergleich zu den Abundanzverhältnissen nur geringen Unterschiede in der Artenzahl und im Artenspektrum zeigen, daß die Schibefahrung zu keiner tiefgreifenden Veränderung im Artengefüge der Protozoen führt. Die festgestellten Unterschiede würden vermutlich noch undeutlicher, wenn in die Untersuchung die am SO 2 noch vorhandenen Rasenschollen miteinbezogen worden wären. Da dort die Humusschicht besser erhalten ist, dürfte auch die Besiedlung arten- und individuenreicher sein. Diese Frage und die Dynamik der Protozoenzönose im Bereich von Schipisten wird Gegenstand zukünftiger Untersuchungen sein.

Bemerkenswert ist die niedere Abundanz aktiver Ciliaten in frischen Bodenproben, was gut mit älteren Angaben (Cutler et al. 1922) und den Untersuchungen von Foissner (1979) übereinstimmt. In vielen neueren Arbeiten (Stout und Heal 1967, Buitkamp 1979), deren Abundanzbestimmung sich nur auf Kulturmethoden stützt, mit denen fast immer sehr hohe Individuendichten festgestellt werden, wird den Ciliaten große Bedeutung in der Nahrungskette und als Humusbildner und Stoffumsetzer beigemessen. Die oben zitierten und die vorliegenden Untersuchungen zeigen aber, daß dieser Fragenkomplex noch gründlicher studiert werden muß.

Aus den vorliegenden Befunden kann mit einiger Vorsicht der Schluß gezogen werden, daß sich bei entsprechender Begrünung der Schipiste die Struktur der Protozoenzönose rasch wieder normalisieren wird. Darauf weisen auch die Untersuchungen von Thaler (1977) hin.

Zusammenfassung

Es wurden die Abundanz, Vertikalverteilung und Artenzahl der terrestrischen Ciliaten und Testaceen einer Schipiste und einer an sie angrenzenden Almweide untersucht. Die Abundanz aktiver Ciliaten war in allen frischen Bodenproben sehr gering. Mit Kulturmethoden wurden jedoch zum Teil hohe Individuendichten festgestellt. Die Abundanz der Ciliaten und Testaceen war im Bereich der Schipiste stark vermindert. Dies wird auf die veränderten pedologischen Verhältnisse und den gestörten Wasserhaushalt zurückgeführt. Die Siedlungsdichte nahm an beiden Standorten in 5...10 cm Tiefe stark ab. In der Artenzahl zeigten sich zwischen Almweide und Schipiste verhältnismäßig geringe Unterschiede. Das läßt darauf schließen, daß die Schibefahrung zu keiner tiefgreifenden Veränderung im Artengefüge der Protozoen führt. Diese vorläufigen Ergebnisse weisen darauf hin, daß sich bei entsprechender Begrünung der Schipiste die Struktur der Protozoenzönose rasch wieder normalisieren wird.

Literatur

Brunberg-Nielsen, L.: Investigations on the microfauna of leaf litter in a Danish beech forest. Natura Jutlandica **14** (1968) 79–87.

Buitkamp, U.: Ökologische und taxonomische Untersuchungen an Ciliaten ausgewählter Bodentypen. Diss. Math.-Naturwiss. Fak. Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Univ., Bonn 1975.

—: Vergleichende Untersuchungen zur Temperaturadaptation von Bodenciliaten aus klimatisch verschiedenen Regionen. Pedobiologia **19** (1979) 221–236.

Bunza, G.: Vergleichende Messungen von Abfluß und Bodenabtrag auf Almflächen des Stubnerkogels im Gasteiner Tal. In Cernusca, A.: Ökologische Analysen von Almflächen im Gasteiner Tal. Innsbruck: Universitätsverlag Wagner 1978, 315–334.

Cernusca, A.: Ökologische Veränderungen im Bereich von Schipisten. In: Sprung, R., und B. König: Das österreichische Schirecht. Innsbruck: Universitätsverlag Wagner 1977, 81–150.

– (Hgb.): Ökologische Analysen von Almflächen im Gasteiner Tal. Veröffentlichungen des Österreichischen MaB-Hochgebirgsprogrammes Hohe Tauern, Bd. **2**. Innsbruck: Universitätsverlag Wagner 1978, 1–390.

Cutler, D. W., L. M. Crump und H. Sandon: A quantitative investigation of the bacterial and protozoan population of the soil, with an account of the protozoan fauna. Phil. Trans. Roy. Soc. **211** (1922) 317–350.

Foissner, W.: Ökologie und Systematik der edaphischen Protozoen in den Hohen Tauern (Österreich). MAB-Mitt. Deutschen Nationalkomitees, Bonn **4** (1979) 40–65.

Lousier, J. D.: Response of soil testacea to soil moisture fluctuations. Soil Biol. Biochem. **6** (1974) 235–239.

Schinner, F.: ATP-Messungen und Abschätzung der mikrobiellen Biomasse in verschiedenen Böden der oberen subalpinen Stufe. In: Cernusca, A.: Ökologische Analysen von Almflächen im Gasteiner Tal. Innsbruck: Universitätsverlag Wagner 1978, 299–310.

Schönborn, W.: Untersuchungen über die Ernährung bodenbewohnender Testaceen. Pedobiologia **5** (1965) 205–210.

Spatz, G.: Die Beeinflussung des Artengefüges einer Almweide im Bereich der Schiabfahrt Stubnerkogel. In: Cernusca, A.: Ökologische Analysen von Almflächen im Gasteiner Tal. Innsbruck: Universitätsverlag Wagner 1978, 335–340.

–, B. Weis und D. M. Dolar: Der Einfluß von Bewirtschaftungsänderungen auf die Vegetation von Almen im Gasteiner Tal. In: Cernusca, A.: Ökologische Analysen von Almflächen im Gasteiner Tal. Innsbruck: Universitätsverlag Wagner 1978, 163–180.

Stout, J. D., und O. W. Heal: Protozoa. In: Burges, A., und F. Raw: Soil Biology. New York: Academic Press 1967, 149–195.

Thaler, K.: Epigäische Makroarthropoden, insbesondere Spinnen, im Bereich einer begrünten Schiabfahrt (Achenkirch, Tirol). In: Beiträge zur Umweltgestaltung, Alpine Umweltprobleme. Heft A 62, Teil I–IV. Berlin: Erich Schmidt Verlag 1977, 97–105.

–, I. de Zordo, E. Meyer, H. Schatz und H. Troger: Arthropoden auf Almflächen im Raum von Badgastein (Zentralalpen, Salzburg, Österreich). In: Cernusca, A.: Ökologische Analysen von Almflächen im Gasteiner Tal. Innsbruck: Universitätsverlag Wagner 1978, 195–233.

Tischler, W.: Einführung in die Ökologie. Stuttgart/New York: G. Fischer 1979.

Univ.-Prof. Dr. Hans Adam und Dr. Wilhelm Foissner, Zoologisches Institut der Universität Salzburg, Akademiestraße 26, A-5020 Salzburg (Austria)