

ISSN 0175-3495

Abhandlungen
aus dem
Westfälischen Museum
für Naturkunde

49. Jahrgang · 1987 · Heft 4

Joachim Gerdsmeyer, Hartmut Greven
Zur Kenntnis der Collembolenfauna
des Eggegebirges

Herausgeber
Westfälisches Museum für Naturkunde
Landschaftsverband Westfalen-Lippe
Münster 1987

Hinweise für Autoren

In der Zeitschrift **Abhandlungen aus dem Westfälischen Museum für Naturkunde** werden naturwissenschaftliche Beiträge veröffentlicht, die den Raum Westfalen betreffen.

Druckfertige Manuskripte sind an die Schriftleitung zu senden.

Aufbau und Form des Manuskriptes

1. Das Manuskript soll folgenden Aufbau haben: Überschrift, darunter Name (ausgeschrieben) und Wohnort des Autors, Inhaltsverzeichnis, kurze Zusammenfassung in deutscher Sprache, klar gegliederter Hauptteil, Literaturverzeichnis (Autoren alphabetisch geordnet), Anschrift des Verfassers.
2. Manuskriptblätter einseitig und weitzeilig in Maschinenschrift.
3. Die Literaturzitate sollen enthalten: AUTOR, Erscheinungsjahr, Titel der Arbeit, Name der Zeitschrift in den üblichen Kürzeln, Band, Seiten; bei Büchern sind Verlag und Erscheinungsort anzugeben.

Beispiele:

KRAMER, H. (1962): Zum Vorkommen des Fischreihers in der Bundesrepublik Deutschland. – J. Orn. 103: 401-417.

RUNGE, F. (1982): Die Naturschutzgebiete Westfalens und des früheren Regierungsbezirks Osnabrück. 4. Aufl. – Aschendorff, Münster. Bei mehreren Autoren sind die Namen wie folgt zu nennen:

MEYER, H., A. HUBER & F. BAUER (1984): ...

4. Schrifttypen im Text:

einfach unterstrichen = **Fettdruck**

unterstrichelt oder gesperrt = **Sperddruck**

wissenschaftliche Art- und Gattungsnamen sowie Namen von Pflanzengesellschaften
unterschlängeln = *Kursivdruck*

Autorennamen in GROSSBUCHSTABEN

Abschnitte, die in Kleindruck gebracht werden können, an linken Rand mit „petit“ kennzeichnen.

Abbildungsvorlagen

5. Die Abbildungsvorlagen (Fotos, Zeichnungen, grafische Darstellungen) müssen bei Verkleinerung auf Satzspiegelgröße (12,6 x 19,7 cm) gut lesbar sein. Größere Abbildungen (z.B. Vegetationskarten) können nur in Ausnahmefällen nach Rücksprache mit der Schriftleitung gedruckt werden.
6. Fotos sind in schwarzweißen Hochglanzabzügen vorzulegen.
7. Die Beschriftung der Abbildungsvorlagen muß in Anreibebuchstaben auf dem Original oder sonst auf einem transparenten Deckblatt erfolgen.
8. Die Unterschriften zu den Abbildungen sind nach Nummern geordnet (Abb. 1, Abb. 2 ...) auf einem separaten Blatt beizufügen.

Korrekturen

9. Korrekturfahnen werden dem Autor einmalig zugestellt. Korrekturen gegen das Manuskript gehen auf Rechnung des Autors.

Für den Inhalt der Beiträge sind die Autoren allein verantwortlich.

Jeder Autor erhält 50 Sonderdrucke seiner Arbeit kostenlos. Weitere Exemplare können nach Vereinbarung mit der Schriftleitung zum Selbstkostenpreis bezogen werden.

Schriftleitung: Dr. Brunhild Gries

Westfälisches Museum für Naturkunde

Sentruper Straße 285

4400 Münster

Abhandlungen
aus dem
Westfälischen Museum
für Naturkunde

49. Jahrgang · 1987 · Heft 4

Joachim Gerdsmeyer, Hartmut Greven
Zur Kenntnis der Collembolenfauna
des Eggegebirges

Herausgeber
Westfälisches Museum für Naturkunde
Landschaftsverband Westfalen-Lippe
Münster 1987

ISSN 0175-3495

© 1987 Landschaftsverband Westfalen-Lippe (LWL)

Alle Rechte vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form ohne schriftliche Genehmigung des LWL reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Zur Kenntnis der Collembolenfauna des Eggegebirges

Joachim Gerdsmeyer, Münster und Hartmut Greven, Düsseldorf

Inhaltsverzeichnis

Summary	4
Zusammenfassung.....	4
1. Einleitung.....	5
2. Charakterisierung des Untersuchungsgebietes	6
3. Material und Methoden.....	9
3.1. Entnahme und Transport der Bodenproben	9
3.2. Extraktion und Bestimmung der Collembolen	9
3.3. Ermittlung bodenkundlicher und geographischer Daten	10
4. Ergebnisse	10
4.1. Bodenverhältnisse.....	10
4.2. Artenlisten	13
4.3. Quantitative Analyse der Collembolengemeinschaft im Fichtenbestand ..	13
4.3.1. Konstanz und Dominanz	13
4.3.2. Abundanz.....	17
4.3.2.1. Absolute und relative Abundanz.....	18
4.3.2.2. Jahreszyklen	20
4.3.2.3. Vertikalverteilung	25
4.4. Quantitative Analyse der Collembolengemeinschaft im Buchenbestand ..	26
4.4.1. Konstanz und Dominanz	29
4.4.2. Abundanz.....	31
4.4.2.1. Absolute und relative Abundanz.....	31
4.4.2.2. Jahreszyklen	35
4.4.2.3. Vertikalverteilung	35
4.5. Faunenvergleich	38
4.5.1. Individuen- und Artenzahlen.....	38
4.5.2. Indices zur Kennzeichnung der Artenstruktur	40
4.5.3. Indices zur Abschätzung der Ähnlichkeit zwischen den Collem- bolengemeinschaften.....	42
5. Schlußbetrachtung.....	43
Danksagungen.....	46
Literatur	46

Summary

1. From July 1983 to June 1984 Collembola were collected monthly in a pine (EF) and a beech forest (EB) in the Egge mountains.
2. More than 5.000 individuals belonging to 47 species were extracted with Berlese-Tullgren funnels from the L-, F- and AH horizons. In EB the number of individuals was 6642/3kg dry weight soil on an average, belonging to 36 species, in EF 9713/3kg belonging to 25 species.
3. Characteristic species combinations and various ecological indices (diversity, evenness, Jaccard-Index, Shannon-Weaver-Index) were determined.
4. In EF, most individuals were found in the L-horizon, in EB, however, in the F-horizon; the AH-horizon in both areas was characterized by few individuals, but numerous species. The populations of Collembola consist of a few frequent (dominance $> 2\%$; 25%) and many rare species (dominance $< 2\%$; 75%).
5. In EF, 44 % of all individuals collected belong to *Folsomia quadrioculata*, in EB even 49 %. Further frequent species were *Isotoma sensibilis*, *Frisea mirabilis*, *Tullbergia krausbaueri* and *Onychiurus furcifer*.
6. Only *Onychiurus furcifer* and *Isotomiella minor* had a seasonal generation cycle, whereas in other species reproduction seems to be independent of season.
7. In spring, Collembola migrate to upper horizons of the soil. In EB, vertically oriented migration to lower horizons could be observed in the late fall. High temperature and low soil humidity reduce number of individuals drastically.
8. Compared with published data, population densities in both forests appear rather low. The very low density in EB may be caused by soil melioration measures in forestry management.
9. Published data as well as our own observations indicate that the Egge mountains must be regarded as a polluted area. Results from a one-year-investigation presented here do not allow recognition of possible influences on Collembola.

Zusammenfassung

1. Von Juli 1983 bis Juni 1984 wurde die Collembolenfauna in einem Fichtenwald (EF) und einem Kalkbuchenwald (EB) im Eggegebirge untersucht.
2. Insgesamt wurden über 5.000 Individuen (47 Arten) mit Hilfe von Berlese-Tullgren Apparaturen aus den obersten Bodenschichten (L, F, AH) extrahiert. In EB wurden 36 Arten gefunden; die Individuendichte betrug hier durchschnittlich 6642/3kg Bodentrockengewicht; in EF waren es 25 Arten und durchschnittlich 9713 Individuen/3kg.
3. Das Artenspektrum und verschiedene ökologische Indices (Diversität, Gleichmäßigkeit, Jaccard-Index, Shannon-Weaver-Index) wurden bestimmt.
4. In EF befanden sich in der Streuschicht (L-Schicht) die meisten Individuen, in EB war dagegen die Vermoderungsschicht (F-Schicht) am dichtesten besiedelt. In beiden Wäldern wies die humose Schicht des Mineralbodens (AH-Schicht) zwar nur wenige Individuen, jedoch zahlreiche Arten auf. Die Collembolenpopulationen bestanden nur aus wenigen häufigen (Dominanz $> 2\%$; 25%) und vielen seltenen Arten (Dominanz $< 2\%$; 75%).
5. In EF gehörten 44% aller Collembolen zu *Folsomia quadrioculata*, in EB sogar 49 %. Weitere häufige Arten waren *Isotoma sensibilis*, *Frisea mirabilis*, *Tullbergia krausbaueri* und *Onychiurus furcifer*.
6. Nur *Onychiurus furcifer* und *Isotomiella minor* zeigten einen saisonalen Generationszyklus. Bei den anderen Arten scheint die Fortpflanzung unabhängig von der Jahreszeit zu sein.

7. Im Frühjahr wanderten die Collembolen in die obersten Bodenschichten. In EB konnte zudem eine deutliche Vertikalwanderung im Spätherbst festgestellt werden. Bei hohen Temperaturen und niedriger Bodenfeuchtigkeit ging die Anzahl der Individuen drastisch zurück.
8. Verglichen mit Literaturdaten sind die Populationsdichten in beiden Gebieten niedrig. Die extrem niedrige Dichte in EB ist möglicherweise auf im September 1983 durchgeführte forstliche Maßnahmen zur Buchenverjüngung zurückzuführen.
9. Ergebnisse anderer Arbeitsgruppen sowie eigene Beobachtungen sprechen für eine Immissionsbelastung der Egge. Der Untersuchungszeitraum von nur einem Jahr läßt jedoch noch keine Aussagen darüber zu, ob die Collembolengemeinschaften davon beeinflusst sind.

1. Einleitung

Von den Bodenarthropoden sind neben Milben (Gamasidae, Oribatidae) die Collembolen die Tiergruppe mit der größten Individuendichte. Die überwiegende Mehrzahl der Autoren ist der Überzeugung, daß „die hemi- und euedaphischen Formen . . . in allen natürlichen Humusböden quantitativ wie qualitativ eine große Rolle bei der Humusbildung spielen (SCHALLER 1970, S. 14, vgl. auch DUNGER 1956, 1963, 1964, 1974, HALE 1967, POOLE 1959). Allerdings ist erst in jüngerer Zeit, vor allem durch RUSEK (1975) deutlich geworden, daß Collembolen einen wichtigen Beitrag zur Zersetzung organischen Materials leisten, wobei artspezifische Unterschiede in der Abbaurate zu berücksichtigen sind. An der bodenverbessernden Bildung von Ton-Humus-Komplexen, die die Wasserhaltefähigkeit, die Nährstoffadsorption und die Gefügestabilität im Boden erhöhen, sind sie jedoch nicht beteiligt. Lediglich in Initialböden oder in Böden, die den ökologischen Ansprüchen wichtiger Primärzersetzer (z.B. Isopoden, Lumbriciden) nicht genügen, kann sich auch Collembolenlösung in größeren Mengen ansammeln, die in diesen Böden das Gefüge verbessert.

Es hat sich zudem herausgestellt, daß Collembolen in enger Beziehung zur Bodenmikroflora stehen, die vor allem für die chemische Zersetzung des Bestandsabfalles verantwortlich ist. Wenn auch das komplexe System dieser Wechselbeziehungen noch weitgehend unerforscht ist, so beweisen doch einige Untersuchungen (HANLON und ANDERSON 1979, HANLON 1981) die kontrollierende Wirkung von Collembolen auf Mikroorganismen; Collembolen vertilgen Pilzsporen und Pilzhypen und schaffen so ein günstiges Verhältnis zwischen Bakterien und Pilzen. Besonders in Moder-Rohhumusböden, in denen Bodenpilze die wichtigsten Primärzersetzer sind, senken nach BECK (1983) die Collembolen und Oribatiden die Produktion der Pilzbiomasse auf ein Niveau herab, das dem langfristigen Produktivitätsoptimum der Pilze entsprechen dürfte. Dadurch wird in diesen Böden ein, wenn auch Mullböden gegenüber verlangsamter, Abbau des Bestandsabfalles erst möglich. Hier üben Collembolen also eine indirekte, aber wesentliche Wirkung auf den Rotteprozeß aus.

In Mullböden, die durch eine üppige Makrofauna und Bakterienflora gekennzeichnet sind, treten dagegen die Collembolen und ebenso Pilze in ihrer bodenbiologischen Bedeutung zurück.

Untersuchungen verschiedener Autoren weisen darauf hin, daß Collembolenpopulationen durch anthropogene Einflüsse (z.B. Insektizide, Schwermetalle, Flugasche, Bodenbearbeitung) unterschiedlich stark gestört werden (vgl. EHRENHARDT und

SCHNEIDER 1955, CHRISTIANSEN 1964, PALISSA 1964b, EDWARDS 1969, DUNGER et al. 1972, DOPPELREITER 1979, BENGTSSON et al. 1983, BECK und KOGLIN 1983, JOOSSE und VERHOEF 1983).

Auch die Versauerung des Bodens scheint in Kombinationswirkung mit bekannten und unbekannten Schadstoffeinträgen einen negativen Einfluß (Verschiebung des Artenspektrums, erhöhte Infektionsrate mit verschiedenen Mikroorganismen) auf Collembolenpopulationen zu haben (HÄGVAR 1978, BÄÄTH et al. 1980, KILHAM und WAINWRIGHT 1981, PURRINI 1982).

Vergleichbare Untersuchungen sind in Deutschland bisher spärlich. Vielfach fehlen sogar noch regionale Faunenlisten, die als Ausgangsbasis für solche meist langfristigen Untersuchungen dienen könnten.

In der vorliegenden Arbeit werden daher die Collembolenbestände in einem Buchen- und einem Fichtenbestand des Eggegebirges quantitativ und qualitativ erfaßt. Da aus diesen Gebieten bisher keine Vergleichswerte vorliegen, wird mit der Untersuchung zunächst der „Istzustand“ ermittelt, der als Basis für längerfristige Untersuchungen, anhand derer später vielleicht Auswirkungen von Immissionsbelastungen erkannt werden könnten, dienen soll.

Die Betrachtung der Collembolenfaunen erfolgt auf zwei verschiedenen Ebenen:

1. Auf Populationsniveau sollen für einige dominante Arten die Lebenszyklen festgestellt werden.
2. Auf der Ebene der Gemeinschaften sollen Abundanz, Dominanz, Konstanz und Diversität ermittelt werden.

Die Ergebnisse werden unter Berücksichtigung ökologischer Parameter (z.B. Bodentemperatur, Bodenfeuchte, pH-Wert, Humusform) untereinander und mit Daten aus dem Schrifttum verglichen.

2. Charakterisierung der Untersuchungsgebiete

Beide Untersuchungsgebiete liegen im Eggegebirge (Forstamt Paderborn, Schwaner Forst, Forstabteilung 181) ca. 15 km östlich von Paderborn, kurz unterhalb des Eggegebirgskammes. Es handelt sich um einen Kalkbuchenwald (*Melico-Fagetum*) (Abkürzung im Folgenden EB) und um einen Fichtenwald, der als potentiell *Luzulo-Fagetum* angesprochen werden könnte, da das Areal ursprünglich mit Buchen (*Fagus sylvatica*) bewachsen war, später aber mit Fichten aufgeforstet wurde (Abkürzung EF).

EB ist durch das Fehlen einer Strauchschicht und durch spärliche Ausbildung einer Krautschicht gekennzeichnet. Der Boden des Fichtenwaldes ist stellenweise von einer Krautschicht bedeckt; vereinzelt findet man auch Sträucher (Tab. 1).

Nach der Waldschadenserhebung NRW 1983 (MELF 1983) waren im Großraum Eggegebirge 62 % der Fichten geschädigt. GENBLER (1984) teilt zur Erhebung mit, daß auf der Westseite des Gebirgszuges sämtliche älteren Fichtenbestände stark geschädigt sind. Auf das Ausmaß der Fichtenschäden im Eggegebirge in Abhängigkeit von ausgewählten Wachstumsfaktoren weisen BALLACH und BRANDT (1985) hin.

Tab. 1: Botanische, geographische, geologische und bodenkundliche Daten der Untersuchungsgebiete.

	EB	EF
<u>Botanische Merkmale:</u>		
Bezeichnung des Waldes	Perlgras-Buchenwald (Melico-Fagetum)	Potentiell Luzulo- Fagetum hier: Fichtenwald
dominante Baumart	Fagus sylvatica	Picea abies
Charakterart der Krautschicht	Melica uniflora	Luzula luzuloides
Alter des Waldes	98 Jahre (Eiche) - 106 Jahre (Buche, Esche)	85 Jahre
Schlußgrad (Maß f. Bodenbeschat- tung)	1,0	1,0
Baum-Schadensklasse	keine Analyse	keine Analyse
<u>Geographische Daten:</u>		
Höhe über N.N.	360 m	360 m
Hangneigung	eben	im oberen Teil: stark geneigt (11°) im unteren Teil: mäßig geneigt (8°)
Exposition	- -	SO
<u>Geologische, boden- kundliche Daten:</u>		
Bodentyp	Braunerde (z.T. Braun- erde-Rendzina stellen- weise pseudovergleyt)	Braunerde (stellenweise Kolluvium, stellenweise pseudovergleyt)
Bodenart	schluffiger Lehm	schluffiger Lehm
Ausgangsgestein	Kalkstein, Mergelstein und Zellenkalkstein	Kalkstein, Kalkmergel- stein und Mergelstein
Humusform	Mull - mullartiger Moder	rohhumusartiger Moder - Rohhumus
pH-Wert (min/max)	4,0 - 5,9	2,8 - 3,4
org. Substanz im AH- Horizont	14%	15%
Carbonatgehalt im AH-Horizont	carbonatfrei	carbonatfrei
Porenvolumen im AH-Horizont	57%	67%

Von der Landesanstalt für Immissionsschutz (LIS) werden die Konzentrationen von SO₂, O₃, NO, NO₂ und Schwebstaub (SSTR) im Eggegebirge gemessen. Die TEMES-Station befindet sich ca. 14 km nördlich von unserem Untersuchungsgebiet. Die Meßergebnisse gehen aus Tab. 2 hervor.

Tab. 2: Messungen der Konzentration von Luftverunreinigungen im Eggegebirge (mg/m³; nach LIS 1983-1985).

Monat	Monatsmittelwert	95-Perzentil	99-Perzentil	Max. 1/2-h-Wert
10/83	(20)(20)	(80)(50)	(140)(70)	(240)(80)
11/83	(70)(20)	(220)(60)	(350)(80)	(550)(90)
12/83	(50)(20)	(170)(50)	(230)(70)	(310)(80)
1/84	(36)(31)(10)(22)(28)	(122)(55)(17)(51)(66)	(220)(62)(38)(59)(88)	(253)(129)(74)(68)(106)
2/84	(71)(32)(10)(26)(62)	(248)(56)(20)(52)(171)	(329)(79)(24)(60)(242)	(400)(94)(76)(75)(344)
3/84	(82)(49)(10)(32)(74)	(284)(89)(24)(82)(176)	(370)(124)(56)(98)(223)	(404)(142)(85)(123)(259)
4/84	(33)(68)(10)(12)(42)	(86)(126)(10)(39)(86)	(144)(149)(10)(51)(119)	(203)(183)(25)(62)(133)
5/84	(23)(58)(10)(15)(29)	(67)(95)(10)(49)(62)	(142)(119)(20)(68)(82)	(309)(133)(94)(77)(131)
6/84	(20)(47)(10)(14)(26)	(82)(87)(10)(45)(64)	(126)(119)(15)(61)(90)	(160)(137)(37)(77)(109)
7/84	(14)(45)(10)(10)(24)	(45)(87)(10)(36)(60)	(74)(121)(10)(51)(78)	(94)(158)(28)(66)(91)
8/84	(23)(93)(10)(14)(45)	(129)(168)(10)(35)(117)	(152)(186)(10)(55)(145)	(208)(200)(51)(94)(168)
9/84	(23)(38)(10)(21)(29)	(65)(74)(12)(56)(67)	(108)(85)(20)(68)(88)	(209)(97)(98)(87)(122)
10/84	(23)(35)(10)(25)(33)	(64)(64)(16)(54)(66)	(117)(74)(29)(64)(108)	(183)(86)(47)(47)(143)
11/84	(60)(22)(10)(28)(63)	(211)(56)(20)(55)(161)	(368)(76)(63)(68)(215)	(710)(90)(107)(79)(241)
12/84	(39)(16)(11)(32)(33)	(121)(47)(121)(59)(100)	(234)(60)(234)(66)(147)	(291)(74)(291)(71)(206)
1/85	(178)(19)(15)(44)(74)	(636)(49)(51)(113)(307)	(1098)(54)(190)(154)(419)	(1232)(57)(302)(200)(439)
2/85	(103)(30)(15)(49)(63)	(362)(60)(84)(105)(155)	(652)(76)(120)(125)(199)	(747)(91)(145)(196)(280)
SO ₂ O ₃ NO NO ₂ SSTR SO ₂ O ₃ NO NO ₂ SSTR SO ₂ O ₃ NO NO ₂ SSTR SO ₂ O ₃ NO NO ₂ SSTR				

Von der LIS werden auch die Tageswerte der vorherrschenden Windrichtung angegeben. Teilt man die Windrichtungen in 16 Sektoren ein, liegt unser Untersuchungsgebiet im Lee (Abluftfahne) des Ruhrgebietes, wenn der Wind aus dem WSW-Sektor oder der südlichen Hälfte des W-Sektors weht. Berücksichtigt man die Häufigkeitsverteilung der Windrichtung z. B. für das Jahr 1984, ergeben sich 74 Tage mit vorherrschenden Winden aus dieser Richtung (ca. 20 %).

Die von November 1982 bis Oktober 1983 in unmittelbarer Nähe zu unseren Gebieten gemessene mittlere Sulfatkonzentration im Freiflächenniederschlag betrug 5,9 mg/l (BLOCK und BARTELS 1984). Die Autoren geben für dieselbe Meßstation und für denselben Zeitraum eine Sulfatdeposition mit dem Freiflächenniederschlag von 63 kg/ha/a an. Dieser Wert unterscheidet sich nur geringfügig von denen aus emittentennahen Gebieten (s. BLOCK und BARTELS 1984). Zu berücksichtigen ist, daß die Stoffeinträge unter Buchen und besonders unter Fichten mehrfach über den entsprechenden Freiflächenwerten liegen (vgl. HÖFKER et al. 1981, REHFUESS 1981, BLOCK und BARTELS 1984).

Niederschlagswerte standen uns von der den Untersuchungsgebieten am nächsten gelegenen Wettermeßstation (Bad Driburg, 5 km östlich von EB und EF) (Abb. 1) zur Verfügung. Die Temperaturdaten stammen von der Station Bad Lippspringe (15 km nordöstlich von EB und EF) (Abb. 1). Sie können dennoch für das Untersuchungsgebiet herangezogen werden, da das Temperaturfeld i.d.R. räumlich homogener ist als das Niederschlagsfeld (FRICKE in lit.). Im Untersuchungsgebiet liegen die Temperaturwerte im Sommer 1983 über, die Niederschlagswerte unter dem entsprechenden lang-

jährigen Mittel. Im Winter 1983/84 lag die Niederschlagsmenge geringfügig über dem langjährigen Mittel, im Frühjahr 1984 jedoch erheblich unter der mittleren Niederschlagsmenge.

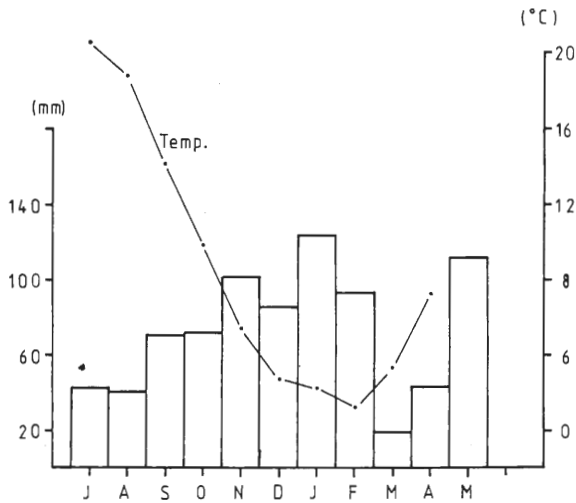


Abb. 1: Schwankungen der Niederschlagsmenge (mm) und der Lufttemperatur (°C) im Untersuchungszeitraum Juli 1983 bis Mai 1984; Meßstationen: Bad Lippspringe (157 m ü. NN) – Temperatur; Bad Driburg (213 m ü. NN) – Niederschlag.

3. Material und Methoden

3.1. Entnahme und Transport der Bodenproben

In monatlichen Abständen (Juli 1983 bis Juni 1984) wurden von beiden Untersuchungsflächen Bodenproben entnommen. An drei verschiedenen Stellen wurde pro Versuchsfläche mit Hilfe eines Aluminiumrahmens (Kantenlänge 33,3 cm x 33,3 cm) eine Bodenprobe von 1/9 m² ausgestochen, in L-, F- und AH-Schicht (s. Kap. 4.2.) getrennt und in Plastikbeutel verpackt. Die Probennahme erfolgte entlang einer einmal festgelegten Zufallslinie (BALOGH 1958). In EB war die Trennung der Schichten im allgemeinen leicht. In EF war jedoch wegen der stärkeren Durchwurzelung der oberen Bodenschichten die Trennung schwierig. Daher konnte nicht immer die Erde von 1/9 m² der jeweiligen Schicht entnommen werden, so daß sich Ungenauigkeiten bei der Berechnung der Individuenzahl pro m² vor allem auch in den Wintermonaten, als die Schichten durch Frosteinwirkung zusammenklebten, ergeben könnten.

3.2 Extraktion und Bestimmung der Collembolen

Aus jedem Gebiet ergaben sich drei L-, drei F- und drei AH-Schichtproben. Die drei einer Schicht zugehörigen Proben wurden im Labor jeweils zu einer Mischprobe vereinigt (vgl. HÜTHER 1961, DUNGER et al. 1972, KOGLIN 1979). Pro Gebiet lagen also insgesamt drei Mischproben vor (je eine aus L-, F- und AH-Schicht). Aus jeder dieser Proben wurde jeweils 1/2 l abgemessen und in eine Berlese-Tullgren-Apparatur (vgl. BALOGH 1958) eingefüllt. Der Rest wurde nach Wägen verworfen.

Die Oberflächentemperatur im Berlese-Tullgren-Trichter betrug 30° C ± 2° C. Die Extraktionsdauer betrug für alle Proben fünf Tage. Anschließend wurden die auf der Oberfläche der Fanggläschen schwimmenden Collembolen mit heißem 98 % Alkohol überschichtet. Proben, die

nicht sofort bearbeitet werden konnten, wurden bis zu fünf Tagen lang kühl (5° C bis 10° C) aufbewahrt. Verfälschungen der Ergebnisse sind bei kühler Lagerung in diesem Zeitraum nicht zu erwarten (EDWARDS und FLETCHER 1971, HÄGVAR 1982).

Stark verunreinigte Berleseproben wurden in gesättigte Kochsalzlösung überführt (BALOGH 1958), von der die Tiere leicht abpipettiert oder mit Filterpapier abgeschöpft werden konnten. Die Collembolen wurden anschließend in Milchsäure aufgehellt, nach den Schlüsseln von GISIN (1960) und PALISSA (1964a) bestimmt, in Polyvinylactophenol (Chroma) eingedeckt und vermessen. Die verwendete Nomenklatur richtet sich nach GISIN (1960).

3.3. Ermittlung bodenkundlicher und geographischer Daten

Bodentyp und Bodenart wurden nach Bodenkarten der geologischen Landesämter und durch die Fingerprobe (FIEDLER 1973 nach MÜHLENBERG 1976) bestimmt.

Die organische Substanz wurde durch Glühen von Erdproben (AH-Horizont) in einem Muffelofen bei 600° C bestimmt. Der Glühverlust gibt dabei den Prozentgehalt des organischen Kohlenstoffs im Boden an (STEBING 1965). Das Ergebnis wird um so genauer, je weniger anorganisches Carbonat im Boden vorhanden ist.

Zur Bestimmung des Carbonatgehaltes im AH-Horizont verwendeten wir die HCl-Probe (10% HCl). Die Salzsäure wird auf den Mineralboden getropft und je nach der Reaktion (kein Aufbrausen bis sehr starkes, lang anhaltendes Aufbrausen) kann der Carbonatgehalt mit Hilfe einer Tabelle abgeschätzt werden (Arbeitsgemeinschaft Bodenkunde 1981).

Die Bestimmung der Humusform erfolgte nach den Richtlinien der Arbeitsgemeinschaft Bodenkunde (1981).

Bodenfeuchtigkeit und Bodentemperatur: Die Bodenproben wurden vor und nach dem Trocknungsvorgang im Berlese-Tullgren-Trichter gewogen. Die Differenz zwischen Frisch- und Trockengewicht gibt die Bodenfeuchtigkeit an, die hier als Prozentsatz des Bodenfrischgewichtes ausgedrückt wird (STEBING 1965). Die Temperatur wurde mit Hilfe eines Bodenthermometers gemessen.

Das Porenvolumen der Bodenproben (AH-Schicht) wurde errechnet durch Division des Trockenvolumens der Proben durch deren spezifisches Gewicht. Zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes s. STEBING (1965).

Zur Bestimmung des pH-Wertes wurden auf 20 g lufttrockenen Boden 50 ml 0,1 KCl gegeben. Die Messungen mit einer pH-Elektrode erfolgten im Überstand des Bodenbreis. Zu berücksichtigen ist, daß die pH-(KCl)-Werte um ca. 0,5 pH niedriger liegen als die pH_(H₂O)-Werte (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 1979).

Die Hangneigung der Untersuchungsgebiete wurde über die Bestimmung des $\tan \alpha$ (vgl. STEBING 1965) ermittelt. Die Exposition wurde mit dem Kompaß gemessen.

4. Ergebnisse

4.1. Bodenverhältnisse

Bodentyp, Humusform, Gehalt an organischem Kohlenstoff:

Nach den Bodenkarten des geologischen Landesamtes NRW herrscht im Eggebirge basenhaltige Braunerde vor mit einer im allgemeinen guten Humusform (Mull) und einem für Luft- und Wasserhaushalt günstigen Bodengefüge.

Nach SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL (1979) ist unter Humus die gesamte Menge des im und auf dem Mineralboden lagernden organischen Materials (abgestorbene pflanzliche und tierische Stoffe und deren organische Umwandlungsprodukte) zu verstehen. Es wird zwischen einem Auflage- und einem Mineralbodenhumus unterschieden, wobei der Auflagehumus noch einmal in folgende Horizonte unterteilt wird (Definitionen nach Arbeitsgemeinschaft Bodenkunde 1981):

1. Die Ol-Schicht (Förna-Schicht) besteht aus frischem und schon länger liegendem Bestandesabfall (Laub, Nadeln), der noch nicht zersetzt, d.h. äußerlich noch unverändert ist.
2. Die Of-Schicht (Fermentations- oder Vermoderungsschicht) ist der Teil der Humusdecke, der aus in Zersetzung begriffenen Pflanzenresten besteht, deren pflanzliche Strukturen aber noch zu erkennen sind.
3. Die Oh-Schicht (Humusstoffschicht) besteht aus stark zersetzten organischen Substanzen. Pflanzliche Strukturen sind makroskopisch nicht mehr zu erkennen. In dieser meist schwarzen, auch als Feinhumus bezeichneten Lage ist die organische Substanz mit dem darunterliegenden Mineralbodenhorizont noch nicht vermischt.

Erfolgt diese Durchmischung, so entsteht im obersten Mineralboden eine humose Schicht (Mineralbodenhumus), die als AH-Schicht bezeichnet wird.

Die Humusformen sind in EB Mull bis mullartiger Moder, in EF rohhumusartiger Moder bis Rohhumus.

Weil in EB und EF das Humusprofil nicht identisch ist (in EB fehlt z.B. die Oh-Schicht, stellenweise sogar die Of-Schicht; in EF dagegen ist die Oh-Schicht entsprechend der Humusform vorhanden), werden die Schichten, um eine gewisse Einheitlichkeit zu wahren, folgendermaßen bezeichnet:

L-Schicht (entspricht der Ol-Schicht);

F-Schicht (entspricht der Of- und/oder der Oh-Schicht);

AH-Schicht.

In EB waren die L-Schicht 2-5 cm, die F-Schicht 1-2 cm und die AH-Schicht 3-5 cm dick; in EF betrug die Dicke der L-Schicht 1-2 cm, die der F-Schicht 3-7 cm und die der AH-Schicht 2-9 cm.

Um den Humusgehalt der Böden miteinander vergleichen zu können, wurde der organische C-Gehalt der AH-Schichten bestimmt. Er betrug in EB 14 % und in EF 15 %. Dieser Wert gibt lediglich Anhaltspunkte für den Humusgehalt, da auch lebende Pflanzenteile (Wurzeln), Tiere, Mikroorganismen sowie anorganischer Kohlenstoff mit in die Bestimmung eingehen können. Letzteres ist jedoch auszuschließen, da die Böden carbonatfrei sind (HCl-Test). Entsprechend ihrem Anteil an organischer Substanz sind die AH-Horizonte in EB und EF als sehr stark humos zu bezeichnen (vgl. Arbeitsgemeinschaft Bodenkunde 1981).

Porenvolumen, Bodenfeuchtigkeit:

Das Porenvolumen wurde in beiden Gebieten jeweils in der AH-Schicht bestimmt. Es betrug in EB 57 % und in EF 67 %. Verglichen mit Werten aus der Literatur (s. SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 1979) handelt es sich um sehr große Porenvolumina, so daß in der AH-Schicht ein reges Bodenleben zu erwarten ist.

In den Abbildungen 2a, 3a ist die Bodenfeuchtigkeit für beide Gebiete getrennt nach Schichten dargestellt. Die Kurven der Bodenfeuchtigkeit verlaufen in EB und EF

annähernd parallel, jedoch ist die Bodenfeuchtigkeit in EF durchschnittlich größer als in EB. Da diese beiden Gebiete direkt nebeneinander liegen und die gleiche Bodenart besitzen (s. Tab. 1), ist die unterschiedliche Bodenfeuchte möglicherweise durch die Eigenschaften der organischen Auflage zu erklären.

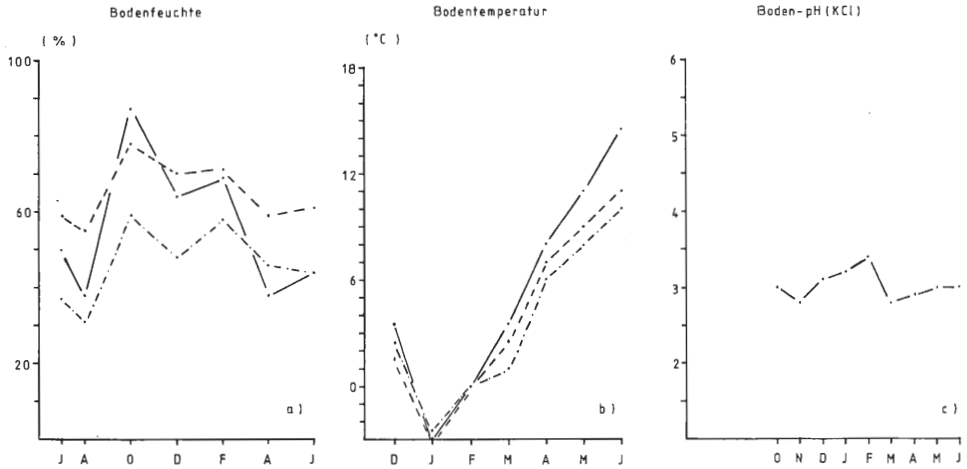


Abb. 2a-c: Bodenparameter im Fichtenwald des Eggegebirges. Bodenfeuchte und Bodentemperatur wurden getrennt nach Schichten gemessen. L = —, F = - - - AH = - · -

Bodentemperatur:

Die Kurven der Bodentemperaturen der einzelnen Schichten (Abb. 2b, 3b) verlaufen in beiden Gebieten ebenfalls annähernd parallel. Die tiefste Bodentemperatur wurde in beiden Gebieten im Januar 1984 gemessen. Im Frühjahr 1984 erreichte die organische Auflage von EB höhere Temperaturen.

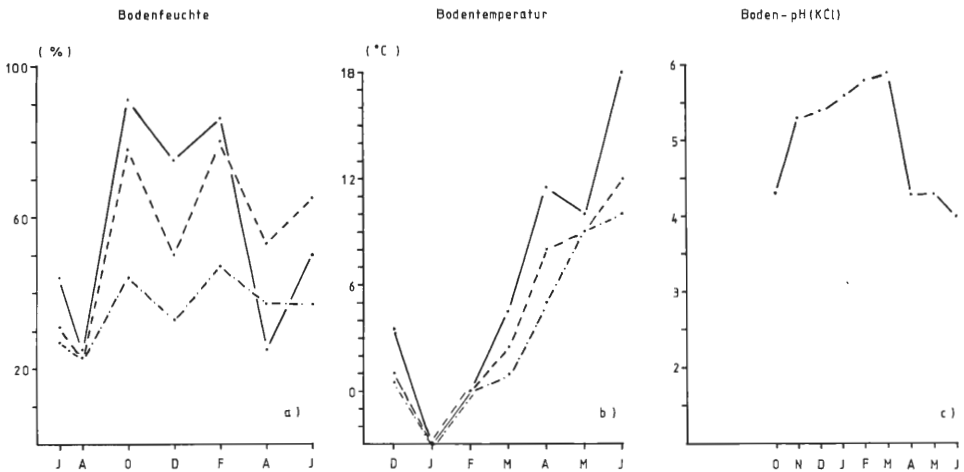


Abb. 3a-c: Bodenparameter im Buchenwald des Eggegebirges. Bodenfeuchte und Bodentemperatur wurden getrennt nach Schichten gemessen. L = —, F = - - - AH = - · -

pH-Wert des Bodens:

Aufgrund der gemessenen pH-Werte in EB und EF (Abb. 2c, 3c) kann man die Böden folgendermaßen kennzeichnen:

EB (pH 4,0-5,9) = mäßig bis stark sauer,

EF (pH 2,8-3,4) = sehr stark bis extrem sauer (vgl. SCHROEDER 1972).

Generell sind die niedrigen pH-Werte auffallend. Selbst in EB hätte man wegen des Kalkuntergrundes einen höheren pH-Wert erwarten dürfen. Erstaunlicherweise konnte hier mit dem HCl-Test auch kein Carbonat nachgewiesen werden. Auffallend ist weiterhin, daß in niederschlagsreichen Monaten die Boden-pH-Werte ansteigen (Abb. 1, 2c, 3c).

4.2. Artenlisten

Im Verlauf des Untersuchungszeitraumes wurden 5914 Collembolen bestimmt. Diese teilen sich in 21 Gattungen und 40 Arten auf (Tab. 3). Vier Arten konnten nicht eindeutig determiniert werden. In den Abbildungen 15 und 26 sind die Arten einem bestimmten Lebensformtyp zugeordnet (GISIN 1943). Für diese Zuordnung sollte eine große Menge von Tieren der betreffenden Art über mehrere Jahre registriert werden. Dennoch waren die meisten der gefundenen Collembolenarten ziemlich eindeutig zuzuordnen. Unsere Befunde stimmen weitgehend mit GISIN (1943) überein (unsichere Zuordnungen sind in den Abbildungen gekennzeichnet).

4.3. Quantitative Analyse der Collembolengemeinschaft im Fichtenbestand

Aus diesem Untersuchungsgebiet liegen 25 Collembolenarten mit 3590 Exemplaren vor (Tab. 3). Die durchschnittliche Individuendichte pro kg Trockengewicht (TS) des Bodens beträgt: 6902 Ind./kg TS der L-Schicht; 2559 Ind./kg TS der F-Schicht; 252 Ind./kg TS der AH-Schicht. Das sind für alle drei Schichten zusammen 9713 Ind./3 kg TS. Dies entspricht einer Individuendichte von durchschnittlich 16006 Ind./m² Waldboden.

4.3.1. Konstanz und Dominanz

Die Konstanz oder Stetigkeit einer Art wird angegeben durch den Prozentsatz aller Berleseproben oder aller Proben pro Bodenschicht, in denen die betreffende Art vertreten ist. Kommt z.B. eine Art in allen Proben vor, so ist ihre Konstanz 100 % oder absolut (BALOGH 1958).

Arten mit hoher oder absoluter Konstanz kommen überall im Untersuchungsgebiet vor. Arten mit geringer Konstanz sind entweder in kleinen Individuenzahlen vorhanden, fordern spezielle Lebensansprüche oder treten in besonderen Verteilungsmustern auf. Aus Abbildung 4 geht hervor, daß nur *Folsomia quadrioculata* in allen drei Schichten absolut konstant ist. In der L-Schicht besitzen außer ihr noch *Tullbergia krausbaueri* und *Isotoma sensibilis* und in der F-Schicht *Frisea mirabilis* eine 100 % Konstanz. *F. mirabilis* hat in diesem Gebiet die zweithöchste Gesamtkonstanz (89 %); von insgesamt 18 Proben fehlte diese Art nur in zwei. Es ist zu erwarten, daß sie langfristig neben *F. quadrioculata* in allen Schichten als eukonstante Art erscheinen wird. Generell ist festzustellen, daß in der am dichtesten besiedelten Schicht (hier die L-Schicht) die meisten absolut konstanten Arten auftreten.

Tab. 3: Artenlisten der beiden Untersuchungsgebiete. Buchenwald Egge (EB), Fichtenwald Egge (EF).

FAMILIE /ART	EB	EF
<u>PODURIDAE</u>		
Hypogastrura denticulata (Bagnall, 1941)	+	+
Xenylla tullbergi Börner, 1903	+	
Willemia anophthalma Börner, 1901	+	+
Frisea mirabilis (Tullberg, 1871)	+	+
Pseudachorutes subcrassus Tullberg, 1871	+	
Anurida pygmaea (Börner, 1901)	+	+
Anurida forsslundi (Gisin, 1949)		+
Neanura muscorum (Templeton, 1835)	+	+
<u>ONYCHIURIDAE</u>		
Onychiurus absoloni (Börner, 1901)	+	+
Onychiurus furcifer (Börner, 1901)	+	+
Onychiurus spec.	+	+
Onychiurus armatus (Tullberg, 1869)	+	+
Onychiurus quadriocellatus Gisin, 1947	+	+
Onychiurus vanderdrifti Gisin, 1952	+	
Onychiurus sibiricus (Tullberg, 1876)	+	
Tullbergia krausbaueri (Börner, 1901)	+	+
Tullbergia callipygos Börner, 1902	+	+
Tullbergia quadrispina (Börner, 1901)	+	
<u>ISOTOMIDAE</u>		
Folsomia quadrioculata (Tullberg, 1871)	+	+
Isotomiella minor (Schäffer, 1896)	+	+
Isotoma notabilis Schäffer, 1896	+	+
Isotoma sensibilis (Tullberg, 1876)	+	+
Isotoma viridis Bourlet, 1839	+	
Isotoma violacea Tullberg, 1876	+	
juvenile Isotomiden (Spinisotoma)		+
Isotomurus spec.	+	
<u>ENTOMOBRYIDAE</u>		
Entomobrya corticalis (Nicolet, 1841)	+	+
Entomobrya muscorum (Nicolet, 1841)	+	
juvenile Entomobryiden	+	
Orchesella cincta (Linné, 1758)		+
Lepidocyrtus lanuginosus (Gmelin, 1788)	+	+
Tomocerus flavescens (Tullberg, 1871)	+	
Tomocerus minor (Lubbock, 1862)		+
<u>SMINTHURIDAE</u>		
Dicyrtoma ornata (Nicolet, 1841)	+	
Dicyrtoma minuta (O.Fabricius, 1783)	+	
Sminthurides pumilis (Krausbauer, 1898)	+	+
Sminthurinus flammeolus Gisin, 1957	+	
Sminthurinus aureus (Lubbock, 1862)	+	
Sminthurus fuscus (Linné, 1758)	+	+
Sminthurus lubbocki Tullberg, 1872	+	+
Artenzahl	36	25

Die Dominanz bezeichnet den relativen Anteil einer Art an der durchschnittlichen Gesamtindividuenzahl des Untersuchungsgebietes oder der jeweiligen Bodenschicht. Sie setzt also die Arten einer Zönose mengenmäßig zueinander in Beziehung und stellt dadurch auch eine wichtige, produktionsbiologisch meßbare Größe dar.

Darüberhinaus ist ihre Bestimmung ein geeignetes Mittel zur Charakterisierung von Tiergesellschaften (BALOGH 1958). Eine gebräuchliche Kennzeichnung der Dominanzstruktur ist die Einteilung in dominante, subdominante, rezedente und subrezedente Arten (vgl. SCHWERTFEGER 1975). Aufgrund des bisher vorliegenden Materials haben wir lediglich zwischen häufigen, d.h. regelmäßig und in größeren Mengen nachgewiesenen (Dominanz > 2 %) und seltenen Arten (Dominanz < 2 %) unterschieden und gelegentlich die Konstanz mit einbezogen.

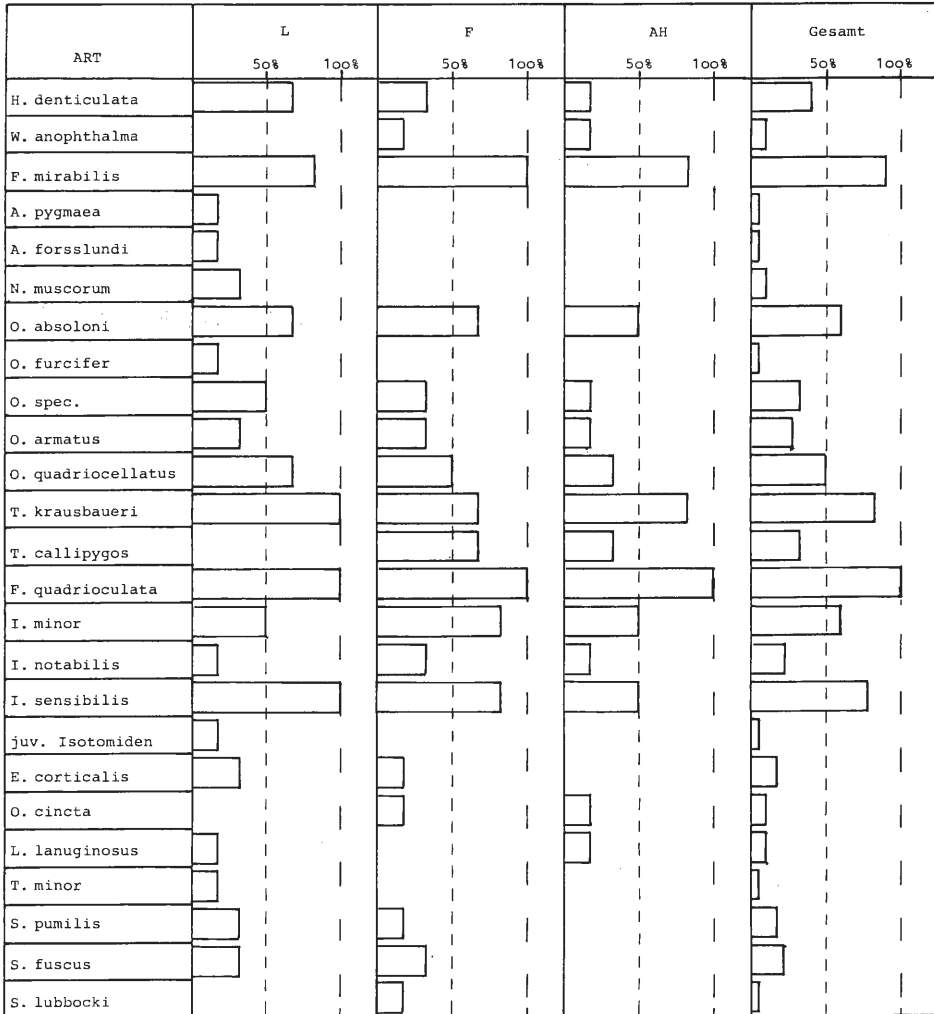


Abb. 4: Konstanz der Collembolenarten in den einzelnen Bodenschichten (L, F, AH) und in allen drei Bodenschichten (Gesamt) im Fichtenwald Egge (EF).

Es gibt nämlich Arten wie z.B. *Entomobrya corticalis*, die in EF nur in einem Monat stark abundant vorkommt und über das Jahr verteilt eine Gesamtdominanz unter Berücksichtigung aller Schichten von 2,8 % erreicht. Sie wäre also als rezedente Art zu bezeichnen, zeigt jedoch eine Gesamtkonstanz von nur 17%. Arten mit solchen Verteilungsmustern werden von uns als seltene Arten bezeichnet.

Die Dominanzstruktur ist in allen drei Bodenschichten homogen, die Werte sind annähernd normal verteilt (Abb. 5). In allen Schichten sind mehrere dominante (Dominanz > 10 %), relativ wenige subdominante (Dominanz 5-10 %) und rezedente (Dominanz 2-5%) Arten vorhanden. *Folsomia quadrioculata*, sonst in allen Bodenschichten die Art mit größter Dominanz, erreicht in der AH-Schicht nur einen Anteil von 27,38%; hier wird ihr von *Frisea mirabilis* mit einer Dominanz von 40,08% der erste Rang streitig gemacht (Abb. 5).

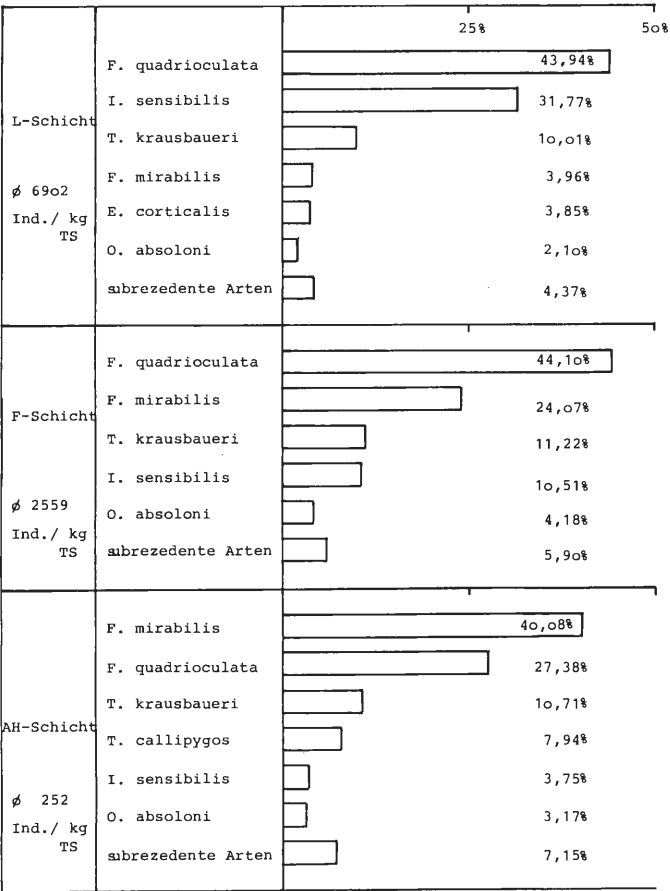


Abb. 5: Dominanz der Arten im Fichtenwald Egge (EF) getrennt nach Bodenschichten. Aufgeführt sind nur Arten mit einer Dominanz > 2 %.

Setzt man das Verhältnis von häufigen zu seltenen Arten und deren Dominanzanteile zueinander in Beziehung, zeigt sich, daß, je tiefer man in den Boden kommt, der Anteil der häufigen Arten ansteigt. Die seltenen Arten verhalten sich umgekehrt, d.h. ihr Anteil an der Gesamtartenzahl nimmt bei steigender Dominanz von oben nach unten hin ab.

	häufige Arten	Dominanz	seltene Arten	Dominanz
L-Schicht	6 (29 %)	95,63 %	15 (71 %)	4,37 %
F-Schicht	5 (28 %)	94,10 %	13 (72 %)	5,90 %
AH-Schicht	6 (40 %)	92,85 %	9 (60 %)	7,15 %

4.3.2. Abundanz

Neben der Angabe der Dominanzverhältnisse ist die Bestimmung der absoluten Abundanz (Individuen pro Flächen- oder Raumeinheit) eine weitere wichtige Größe, um Tiergemeinschaften zu beschreiben. Sie liefert die Grundlage für einen quantitativen Vergleich von Zönosen aus verschiedenen Biotopen (BALOGH 1958). Die Angabe der relativen Abundanz (hier zu verstehen als monatliche prozentuale Verteilung einer Art in den Schichten) bietet zudem die Möglichkeit, Vertikalwanderungen zu erkennen (vgl. BECK 1983).

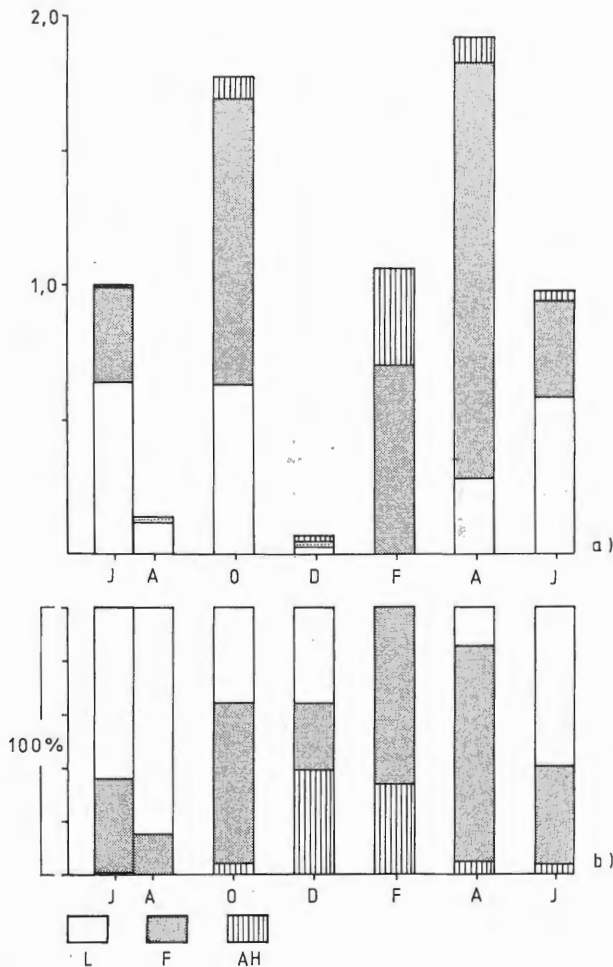


Abb. 6a, b: Absolute (a) und relative (b) Abundanzen von *Frisea mirabilis* (EF) in den Bodenschichten. Abszisse: Monate; Ordinate: a) Ind./3kg TS x 1000 (L+F+AH), Ind./kg TS x 1000 (L, F, AH); b) Prozent.

4.3.2.1. Absolute und relative Abundanz

Die Abbildungen 6a, b bis 10a, b zeigen die absoluten und relativen Häufigkeiten der Arten im Jahresverlauf, die eine Gesamtdominanz $> 2\%$ und eine Gesamtkonstanz $> 30\%$ besitzen. Die Individuendichte wird für die Einzelschichten in Ind./kg TS und für die L-, F- und AH-Schicht (Gesamtschicht) in Ind./3kg TS angegeben. Diese Darstellungsweise hat den Vorteil, daß bei Addition der Individuen pro Schicht und Monat der Zuwachs am Diagramm der Summenschicht (L, F und AH) direkt erkannt werden kann (vgl. auch Abb. 11-14).

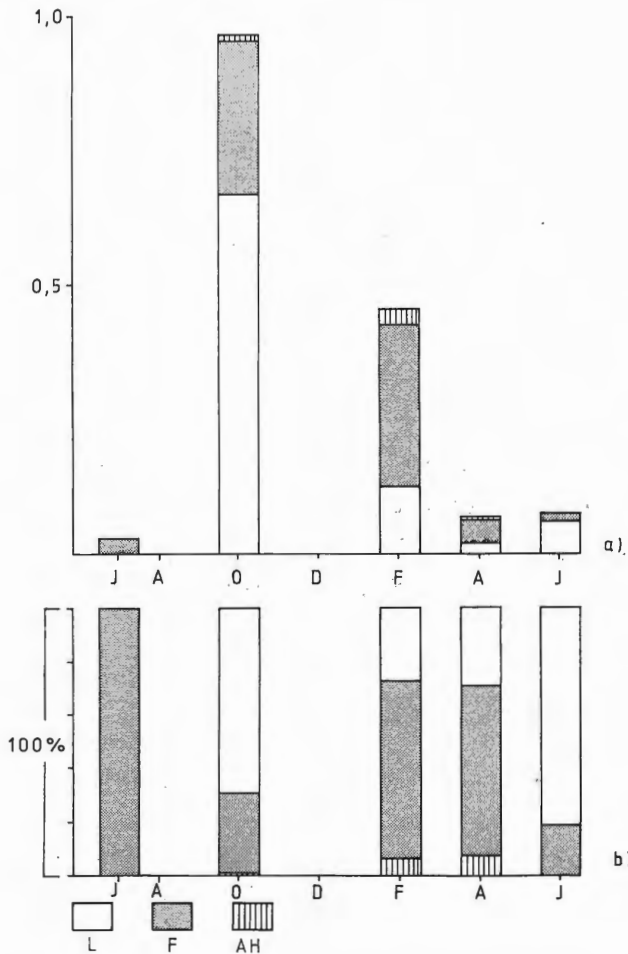


Abb. 7a, b: Absolute (a) und relative (b) Abundanzen von *Onychiurus absoloni*(EF) in den Bodenschichten. Abszisse: a) Ind./3kg TS x 1000 (L+F+AH), Ind./kg TS x 1000 (L, F, AH); b) Prozent.

Mit Ausnahme von *Folsomia quadrioculata* zeigen alle Arten ein oder zwei Häufigkeitsmaxima pro Jahr, die im Herbst und/oder Frühjahr auftreten. Sieht man einmal von dem Dichterückgang im August ab, hat *F. quadrioculata* eine hohe und relativ gleichmäßige Abundanz (Abb. 9a). Das Herbstmaximum des nicht absolut konstanten *Onychiurus absoloni* fällt mit dem Auftreten kleinster Stadien zusammen. Die Dichteminima von *O. absoloni* und *Tullbergia krausbaueri* (Abb. 7a, 8a) stimmen mit den Monaten geringster Bodenfeuchte überein (Abb. 2a). Das gilt auch für *Isotoma sensibilis* und *Frisea mirabilis*, die jedoch trotz der geringen Bodenfeuchte im April (Abb. 2a) die Bodenschichten noch relativ dicht besiedelten (Abb. 6a, 10a). *F. mirabilis* zeigte im April sogar ihr zweites Dichtemaximum. Der Rückgang der Abundanz im trockenen und warmen Sommer 1983 (Abb. 1, 2b) ist möglicherweise darauf zurückzuführen, daß die Arten in noch tiefere Schichten als die AH-Schicht abwanderten, vielleicht in die humose Schicht des B-Horizontes, die in EF stellenweise vorliegt (Auswaschungshorizont).

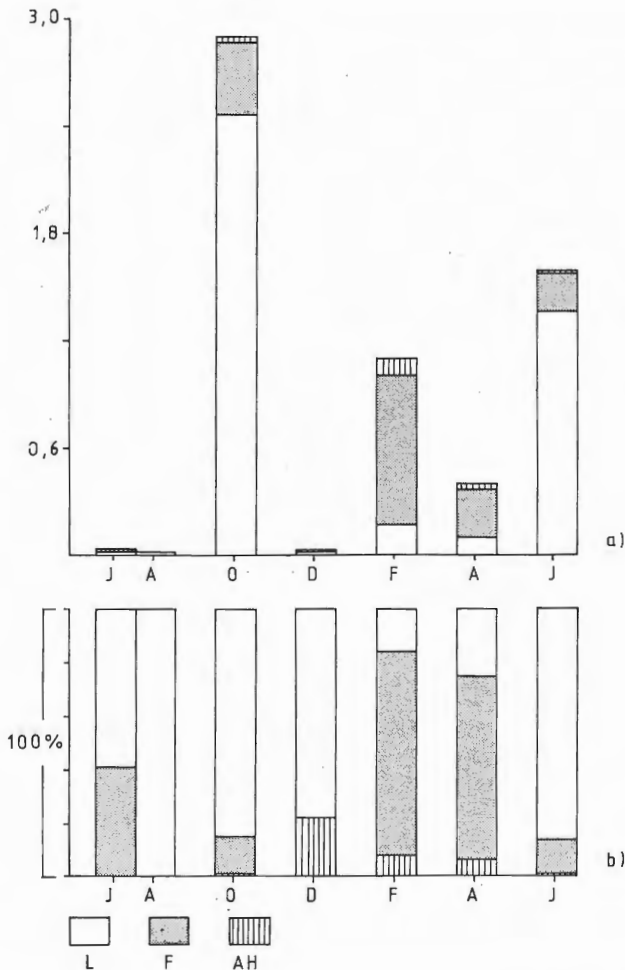


Abb. 8a, b: Absolute (a) und relative (b) Abundanzen von *Tullbergia krausbaueri* (EF) in den Bodenschichten. Abszisse: Monate; Ordinate: a) Ind./3 kg TS x 1000 (L+F+AH), Ind./kg TS x 1000 (L, F, AH); b) Prozent.

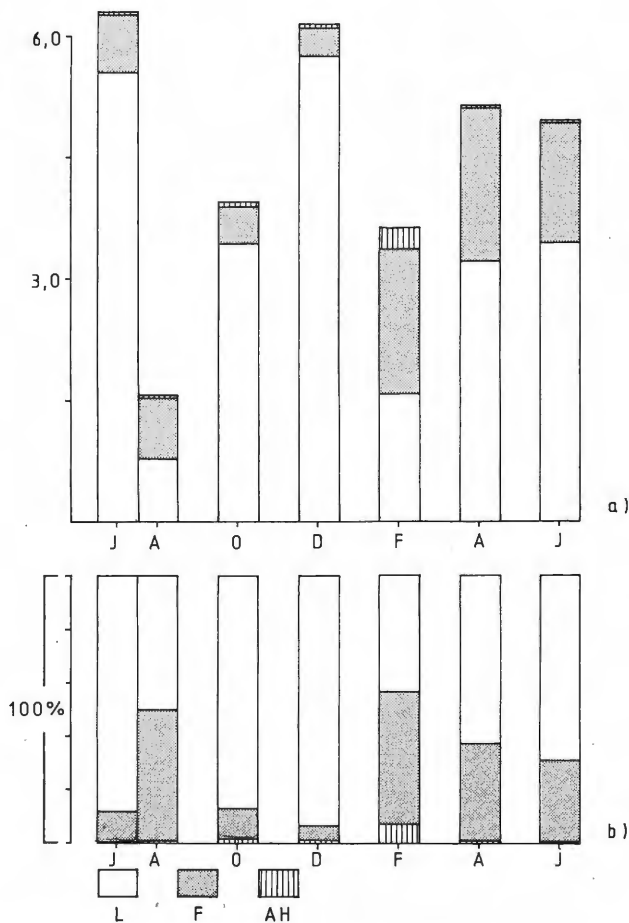


Abb. 9a, b: Absolute (a) und relative (b) Abundanzen von *Folsomia quadrioculata* (EF) in den Bodenschichten. Abszisse: Monate; Ordinate: a) Ind./3 kg TS x 1000 (L+F+AH), Ind./kg TS x 1000 (L, F, AH); b) Prozent.

4.3.2.2 Jahreszyklen

Jahreszyklen können Auskunft über den Reproduktionserfolg einer Art geben, der evtl. als zusätzlicher Parameter für sich ändernde Umweltbedingungen herangezogen werden kann. Die Jahreszyklen werden nur von den Arten dargestellt, die mindestens in einer der drei Bodenschichten eine 100 % Konstanz und eine durchschnittliche Abundanz > 200 Ind./kg TS aufwiesen.

Frisea mirabilis (Abb. 11) gehört zum Hemiedaphon und lebt sowohl in humosen, feuchten und kalkhaltigen als auch in sauren Böden, besonders zahlreich im Sauerhumus von Nadelwäldern (GISIN 1943).

Diese Art ist im Untersuchungsgebiet subdominant und erreicht Körperlängen von 0,3 bis 0,8 mm. Das Größenspektrum verändert sich im Laufe des Jahres nicht wesentlich, so daß die Kurve der Individuenhäufigkeit (s. besonders Gesamtschichten)

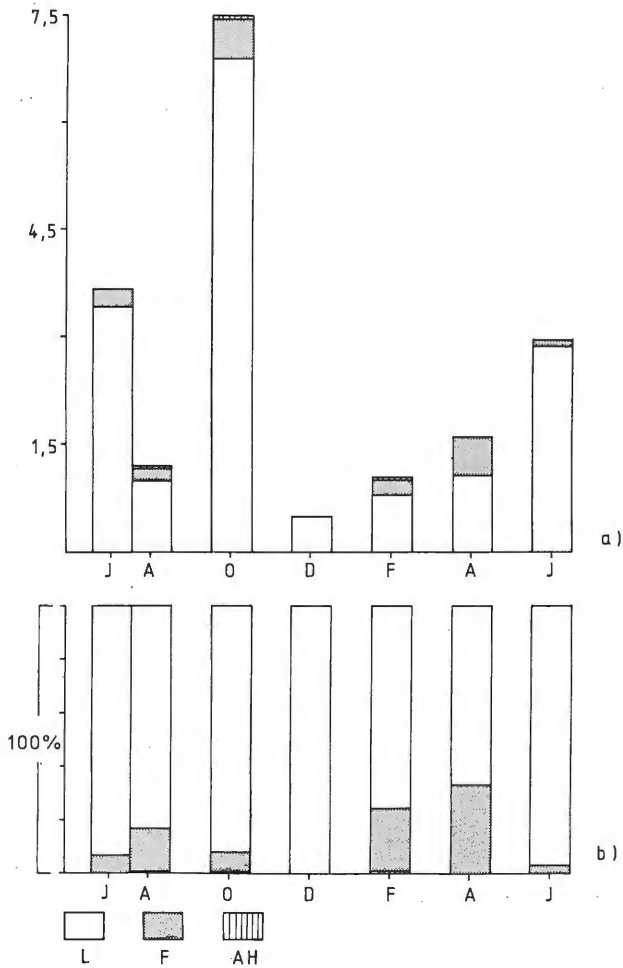


Abb. 10a, b: Absolute (a) und relative (b) Abundanzen von *Isotoma sensibilis* (EF) in den Bodenschichten. Abszisse: Monate; Ordinate: a) Ind./3 kg TS x 1000 (L+F+AH), Ind./kg TS x 1000 (L, F, AH); b) Prozent.

annähernd einer Normalverteilung entspricht, wobei die Mehrzahl der Individuen 0,4 bis 0,5 mm lang ist. Eine Verschiebung des Größenspektrums innerhalb eines Jahres ist nicht zu erkennen. Daher ist zu vermuten, daß sich die Population von *F. mirabilis* ständig erneuert, vielleicht sogar mehrere Generationen pro Jahr hervorbringt und die Adulten laufend absterben. Da die kleinsten Stadien nicht die häufigste Größenklasse darstellen, ist anzunehmen, daß *F. mirabilis* wenige Nachkommen mit großen Überlebenschancen hervorbringt (K-Strategie, vgl. u.a. REMMERT 1978).

Tullbergia krausbaueri (Abb. 12) ist eine typische Vertreterin des euedaphischen Lebensformtyps. Sie ist euryök (GISIN 1943) und zeigt selbst bei pH < 3 eine Zunahme der Abundanz (HÄGVAR 1978).

Die in der L- und der F-Schicht dominante Art erreicht Körperlängen von 0,2 bis 0,6 mm. Das Spektrum der Größenklassen verändert sich im Laufe des Jahres kaum, so

daß nicht auf eine Fortpflanzungsrhythmik geschlossen werden kann. Bezüglich ihrer Nachkommenschaft und ihrer Lebensstrategie gilt für sie das gleiche wie für *Frisea mirabilis*.

Folsomia quadrioculata (Abb. 13) nimmt eine Mittelstellung zwischen Hemi- und Euedaphon ein. Diese euryöke (GISIN 1943), in allen drei Bodenschichten dominante Art kommt in Größen von 0,2 bis 1,9 mm vor. Da von dieser Art die meisten Tiere vor-

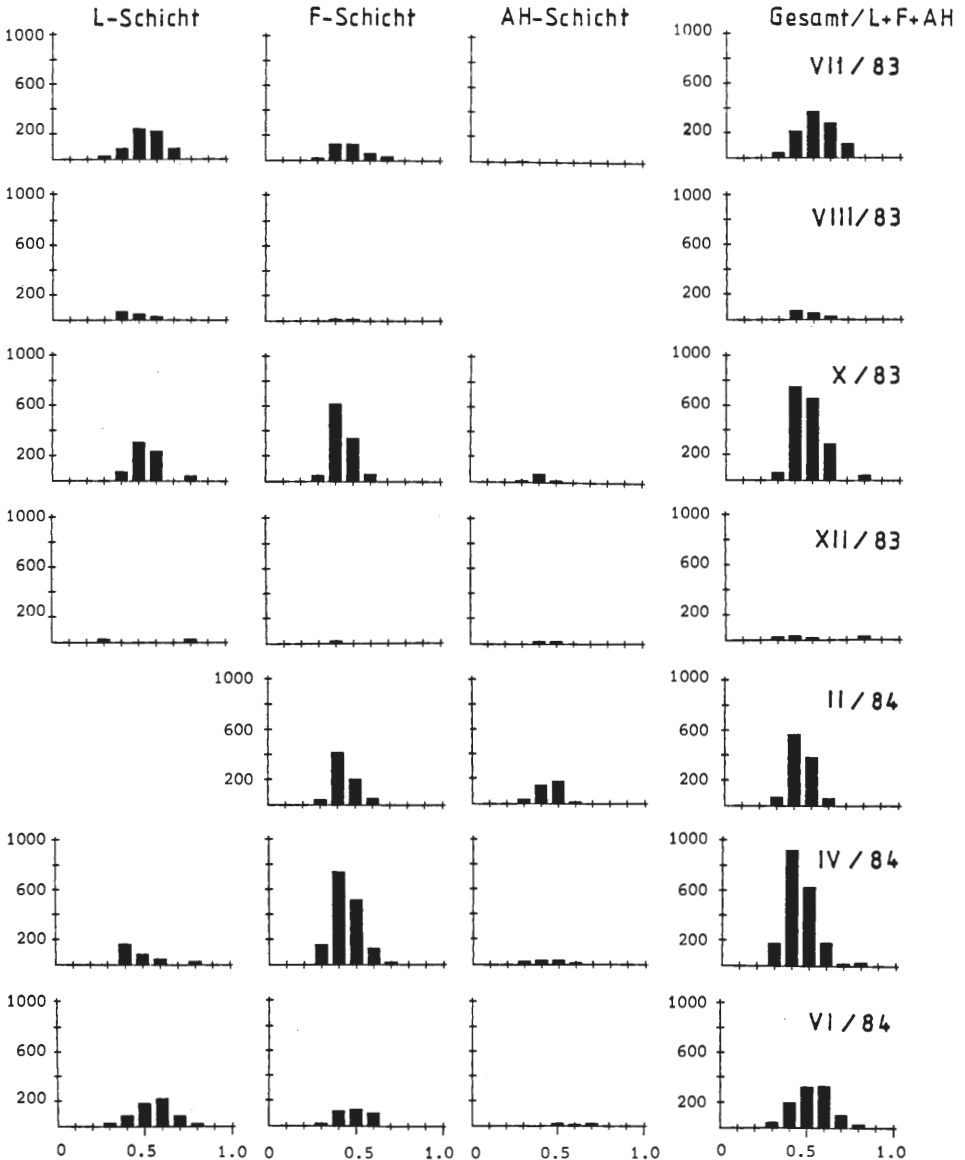


Abb. 11: Häufigkeit verschiedener Größenklassen von *Frisea mirabilis* (EF) in den einzelnen Bodenschichten (L, F, AH) und in allen drei Bodenschichten (Gesamt). Abszisse: Körperlänge (mm); Ordinate: Ind./kg TS (L, F, AH), Ind./3 kg TS (L+F+AH).

lagen, lassen sich hier abundanzdynamische Veränderungen und relative Häufigkeitsverteilung, d.h. Vertikalwanderungen in den Bodenschichten am klarsten erkennen. Eine ausgeprägte Fortpflanzungsrhythmik ist auch bei *F. quadrioculata* nicht zu erkennen. Die Häufigkeitsmaxima liegen zwar konstant bei den kleinen Größenklassen (0,4 bis 0,7 mm), dennoch gibt es auch Individuen, die bis 1,9 mm groß werden. Es werden also offensichtlich ständig viele Nachkommen produziert, die relativ geringe Überlebenschancen haben (r-Strategie, vgl. REMMERT 1978).

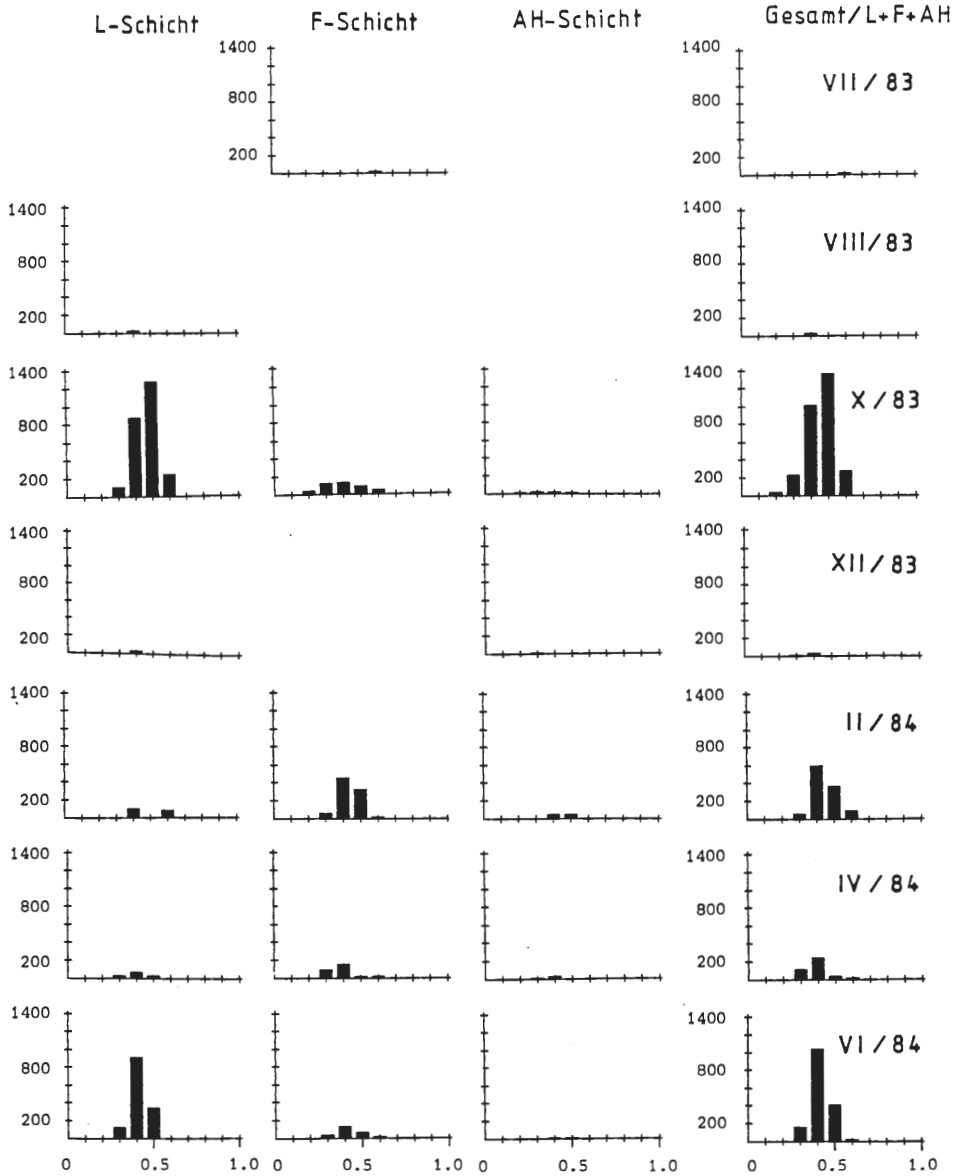


Abb. 12: Häufigkeit verschiedener Größenklassen von *Tullbergia krausbaueri* (EF) in den einzelnen Bodenschichten (L, F, AH) und in allen drei Bodenschichten (Gesamt). Abzisse: Körperlänge (mm); Ordinate: Ind./kg TS (L, F, AH), Ind./3 kg TS (L+F+AH).

Isotoma sensibilis (Abb. 14) gehört zum hemiedaphischen bis atmobionten Lebensformtyp. Die Größe der Tiere bewegt sich zwischen 0,2 und 1,8 mm. Im Sommer und im Herbst sind die kleinen Stadien am häufigsten. Das deutet darauf hin, daß *I. sensibilis* zwei Generationen im Jahr produziert, also als bivoltin zu bezeichnen ist. Die kleinsten Stadien tauchen abundant nur in der L-Schicht auf.

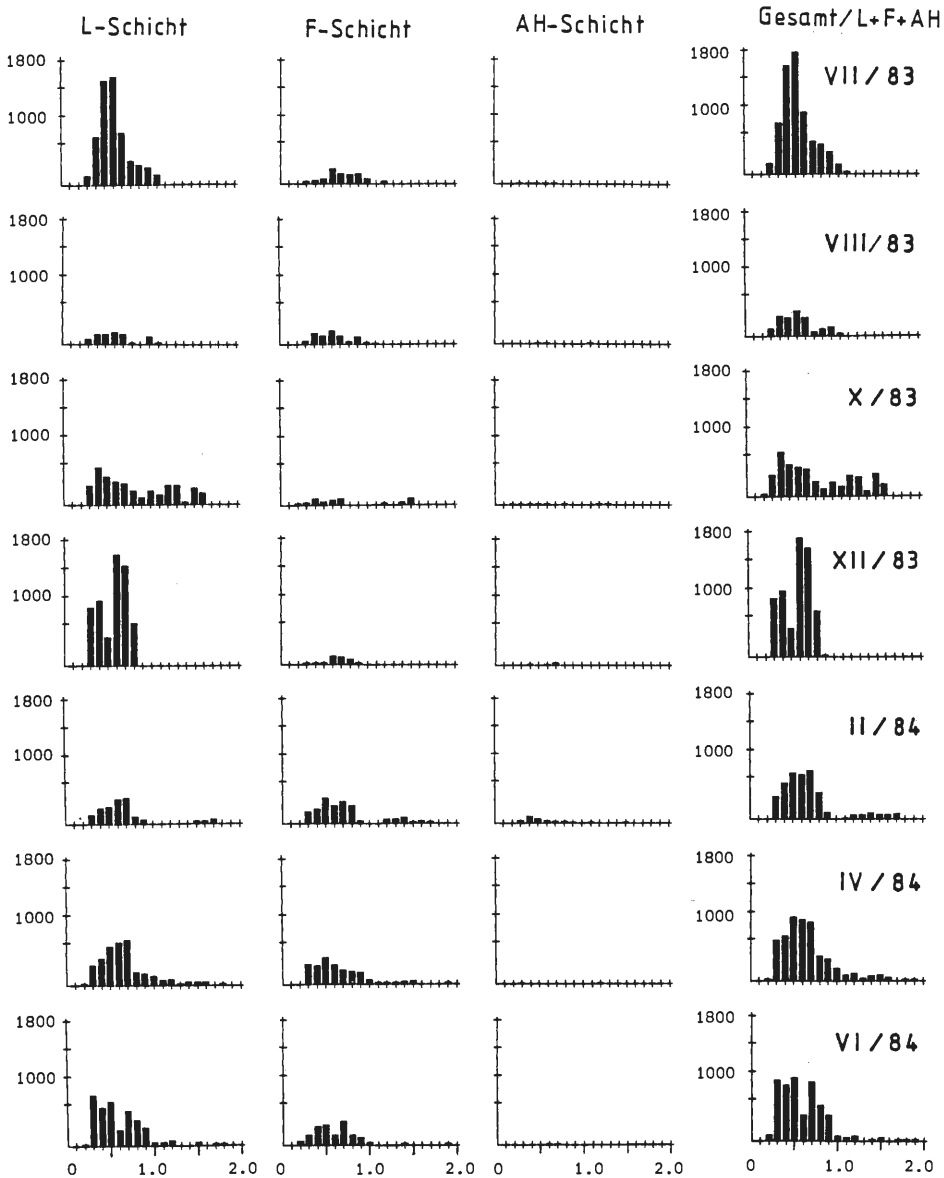


Abb. 13: Häufigkeit verschiedener Größenklassen von *Folsomia quadrioculata* (EF) in den einzelnen Bodenschichten (L, F, AH) und in allen drei Bodenschichten (Gesamt). Abzisse: Körperlänge (mm); Ordinate: Ind./kg TS (L, F, AH), Ind./3 kg TS (L+F+AH).

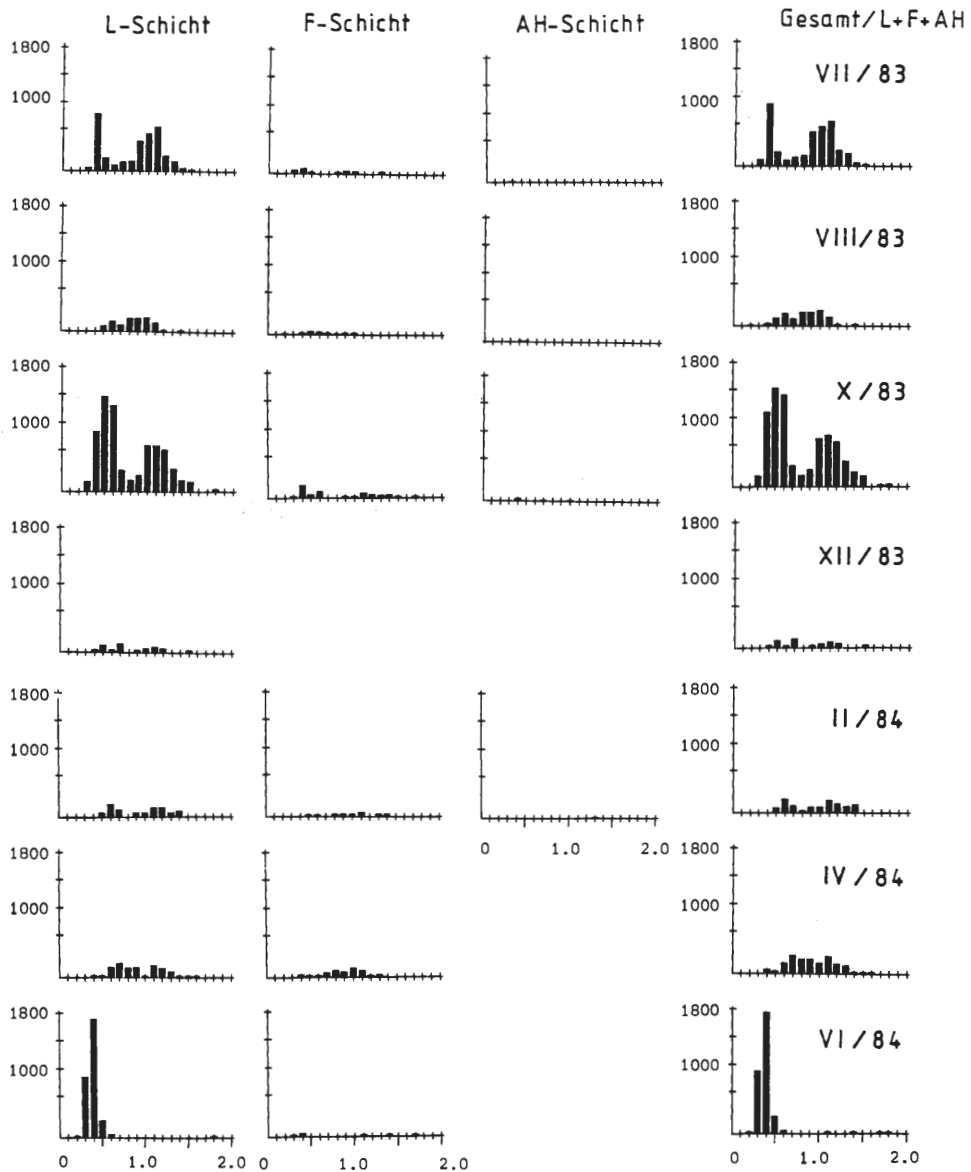


Abb. 14: Häufigkeit verschiedener Größenklassen von *Isotoma sensibilis* (EF) in den einzelnen Bodenschichten (L, F, AH) und in allen drei Bodenschichten (Gesamt). Abszisse: Körperlänge (mm); Ordinate: Ind./kg TS (L, F, AH), Ind./3 kg TS (L+F+AH).

4.3.2.3. Vertikalverteilung

In EF wird die L-Schicht bevorzugt besiedelt (Abb. 15). Nur bei *Frisea mirabilis* ist im Winter wahrscheinlich eine Vertikalwanderung in die AH-Schicht zu verzeichnen (s. Abb. 6b). Alle anderen Arten wandern bei großer Kälte in die F-Schicht ab. Teile der Populationen blieben jedoch in der L-Schicht zurück. Erst mit ansteigenden Temperaturen im Frühjahr wurde die L-Schicht wieder verstärkt besiedelt. Neben den anderen

Arten bewohnen auch die sonst euedaphischen Onychiuriden die L-Schicht. Zu vergleichbaren Befunden kommen auch HÄGVAR (1983), der acht Nadelwälder, darunter vier Fichtenforste, untersuchte und zahlreiche andere Autoren (Zusammenfassung bei HÄGVAR 1983).

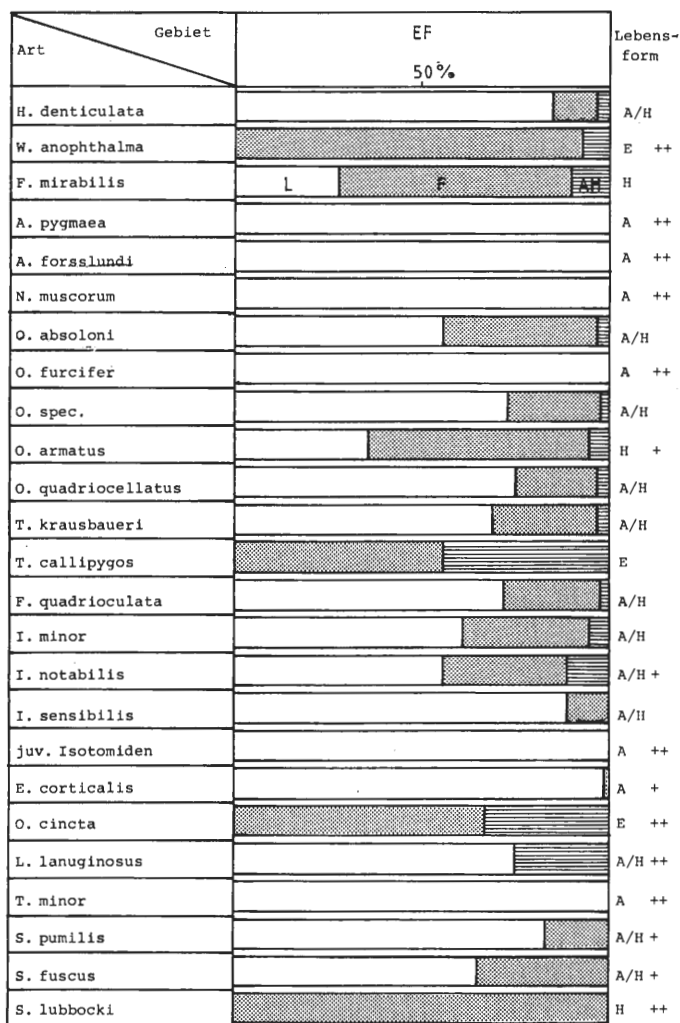


Abb. 15: Mittlere relative Häufigkeit der Arten in den Bodenschichten des Fichtenbestandes (EF). Rechts: Zuordnung der Arten zu GISINs (1943) Lebensformtypen. A = atmobiote, H = hemiedaphisch, E = euedaphisch. + = Gesamtkonstanz < 30 %, ++ = Gesamtkonstanz < 30 % und Gesamtdominanz < 0,2 % (unsichere Zuordnung).

4.4. Quantitative Analyse der Collembolengemeinschaft im Buchenbestand

Aus diesem Gebiet lagen 36 Collembolenarten mit 2324 Individuen vor. Die Durchschnittswerte Individuenzahl pro kg Trockengewicht des Bodens sind: L-Schicht

2972 Ind./kg TS, F-Schicht 3440 Ind./ kg TS, AH-Schicht 230 Ind./kg TS, für alle drei Schichten zusammen 6642 Ind./3 kg TS. Das entspricht einer Individuendichte von durchschnittlich 8517 Ind./m².

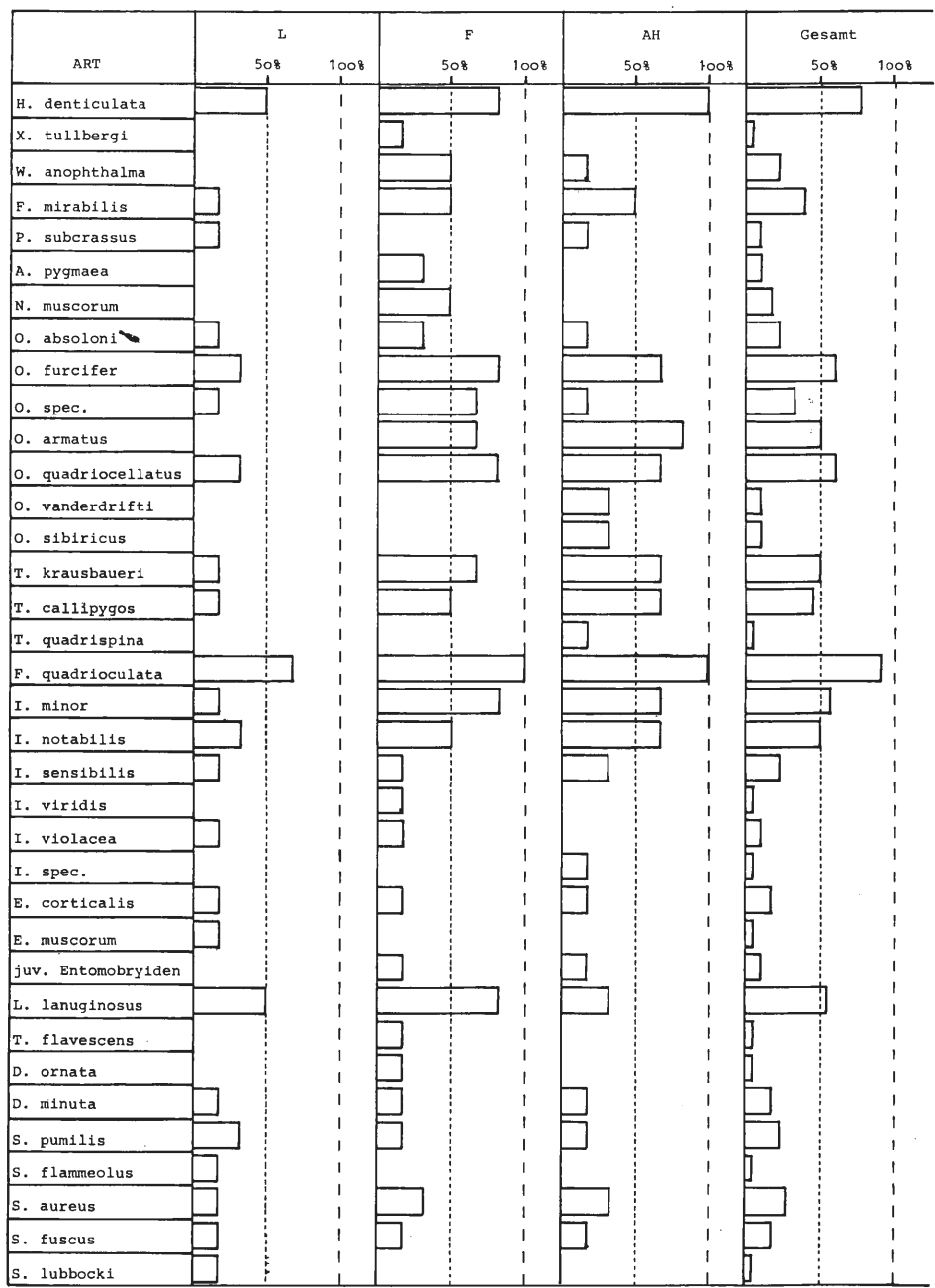


Abb. 16: Konstanz der Collembolenarten in den einzelnen Bodenschichten (L, F, AH) und in allen drei Bodenschichten (Gesamt) im Buchenwald Egge (EB).

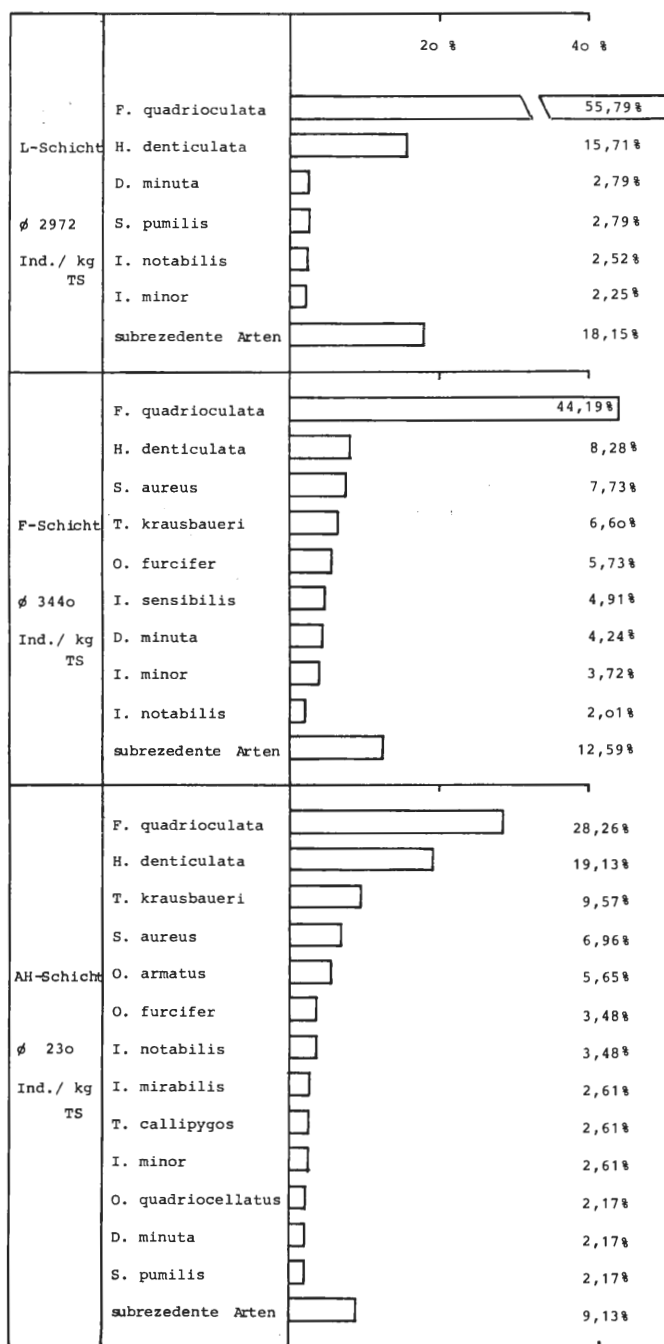


Abb. 17: Dominanz der Arten im Buchenwald Egge (EB) getrennt nach Bodenschichten. Aufgeführt sind nur Arten mit einer Dominanz > 2 %.

4.4.1. Konstanz und Dominanz

In EB besitzt keine Art eine absolute Konstanz (Abb. 16). In der F-Schicht ist nur *Folsomia quadrioculata* absolut konstant und in der AH-Schicht neben ihr nur noch *Hypogastrura denticulata*. In der L-Schicht ist keine Art absolut konstant.

Abbildung 17 zeigt die Dominanzstruktur in den drei Bodenschichten. In der L- und AH-Schicht sind *F. quadrioculata* und *H. denticulata* dominant, während in der F-Schicht nur *F. quadrioculata* als dominante Art auftritt. Auffallend ist die sehr große Zahl subdominanter und rezedenter Arten in der AH-Schicht.

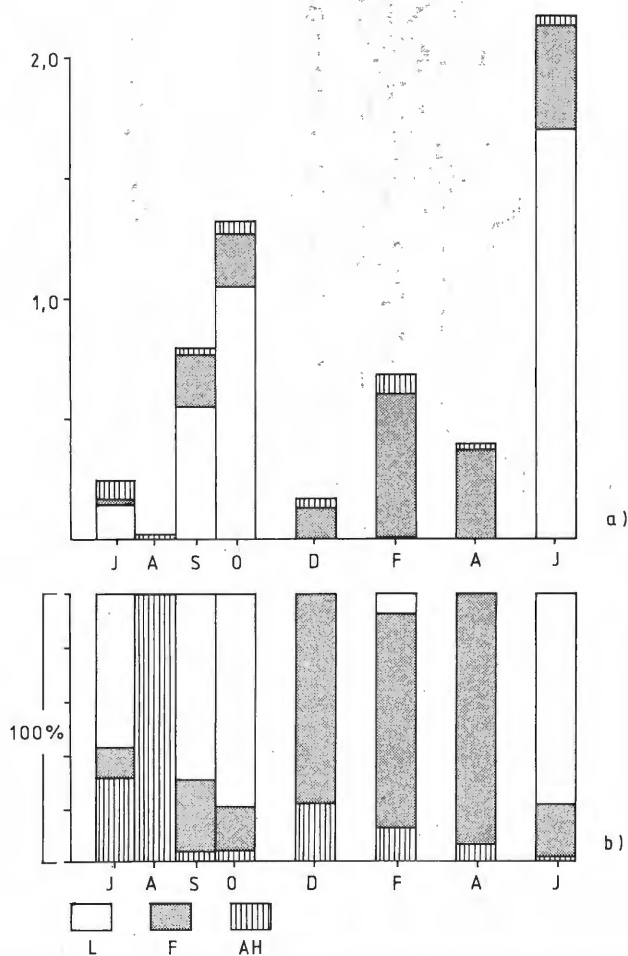


Abb. 18a, b: Absolute (a) und relative (b) Abundanzen von *Hypogastrura denticulata* (EB) in den Bodenschichten. Abszisse: Monate; Ordinate: a) Ind./3 kg TS x 1000 (L+F+AH), Ind./kg TS x 1000 (L, F, AH); b) Prozent.

Das Verhältnis der Dominanzanteile von häufigen zu seltenen Arten ist:

	häufige Arten	Dominanz	seltene Arten	Dominanz
L-Schicht	6 (26 %)	81,85 %	17 (74 %)	18,15 %
F-Schicht	9 (32 %)	87,41 %	19 (68 %)	12,59 %
AH-Schicht	13 (50 %)	90,87 %	13 (50 %)	9,13 %

Der Anteil der häufigen Arten und deren Dominanzanteil nehmen also von der obersten zur untersten Schicht zu. Der Anteil der seltenen Arten und deren Dominanz nehmen jedoch von oben nach unten hin ab. Diese Ergebnisse weichen grundsätzlich von denen aus EF ab, wo die Verhältnisse genau umgekehrt sind (vgl. Kap. 4.4.1.).

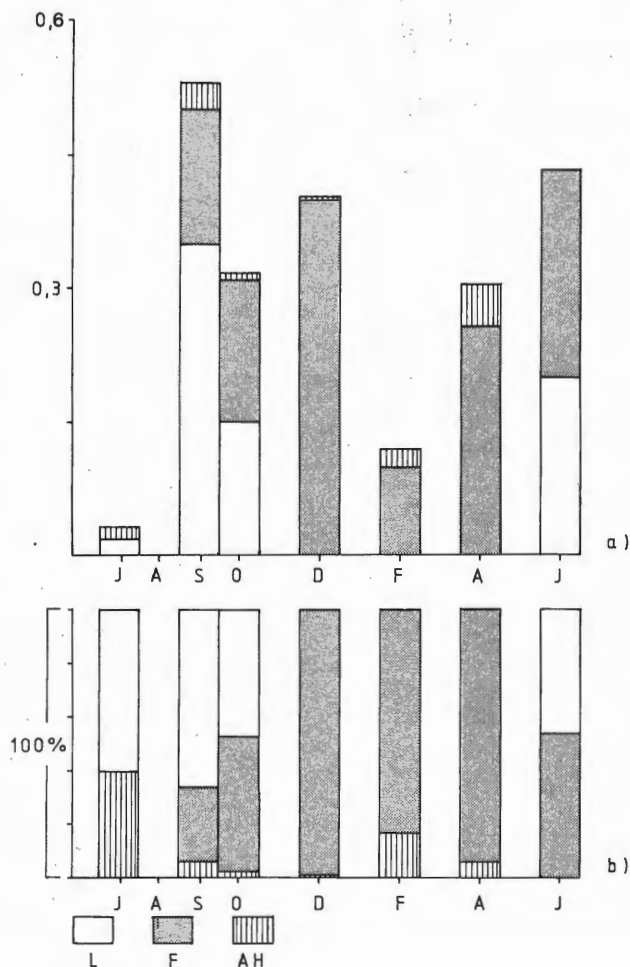


Abb. 19a, b: Absolute (a) und relative (b) Abundanzen von *Onychiurus fuscifer* (EB) in den Bodenschichten. Abszisse: Monate; Ordinate: a) Ind./3 kg TS x 1000 (L + F + AH), Ind./kg TS x 1000 (L, F, AH); b) Prozent.

4.4.2. Abundanz

4.4.2.1. Absolute und relative Abundanz

Die Abbildungen 18a, b bis 24a, b zeigen die absoluten und relativen Abundanzen der Arten, die in EB eine Gesamtdominanz $> 2\%$ und eine Gesamtkonstanz $> 30\%$ besitzen. Die Dichtemaxima der Arten liegen entweder im Frühsommer (*Folsomia quadrioculata*, *Isotoma notabilis*) (vgl. Abb. 21a, 22a) oder im Herbst und im Frühsommer (*Hypogastrura denticulata*, *Onychiurus furcifer*, *Isotomiella minor*, *Lepidocyrtus lanuginosus*) (vgl. Abb. 18a, 19a, 23a, 24a). *Tullbergia krausbaueri* besitzt jedoch je ein Dich-

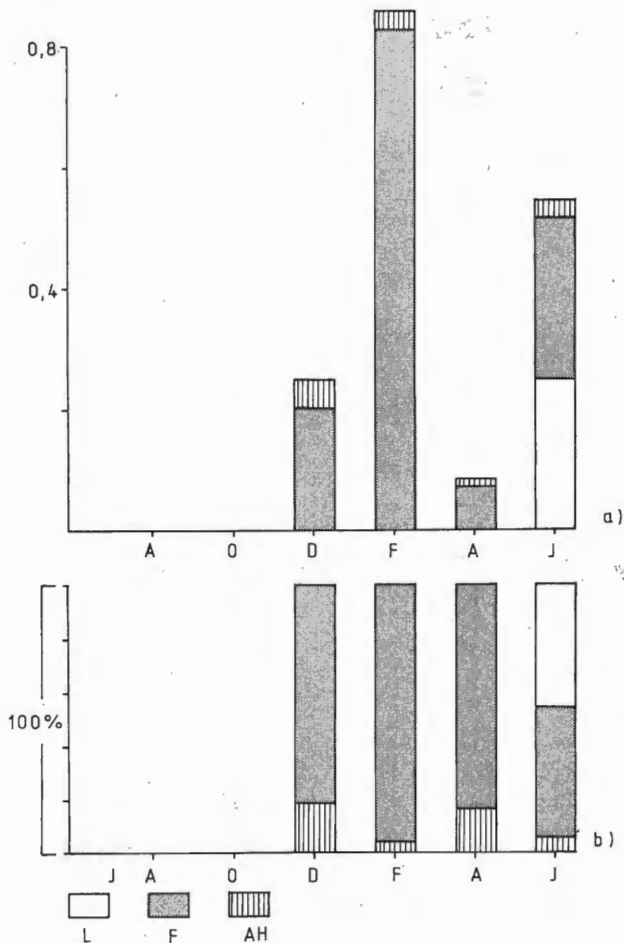


Abb. 20a, b: Absolute (a) und relative (b) Abundanzen von *Tullbergia krausbaueri* (EB) in den Bodenschichten. Abszisse: Monate; Ordinate: a) Ind./3 kg TS x 1000 (L+F+AH), Ind./kg TS x 1000 (L, F, AH); b) Prozent.

temaximum im Winter und im Frühsommer (Abb. 20a). Die Dichtemaxima von *I. notabilis* und *T. krausbaueri* sind ungleichmäßig verteilt (Abb. 22a, 20a). *T. krausbaueri* blieb in der Zeit von Juli 1983 bis Oktober 1983 ganz aus, *I. notabilis* wurde von Juli 1983 bis Dezember 1983 nur in geringen Mengen nachgewiesen. Die Dichteminima liegen für alle Arten mit Ausnahme von *T. krausbaueri* im Sommer (August 1983) und im Winter (Dezember 1983, Februar 1984). *T. krausbaueri* kam im Februar 1984 besonders häufig vor.

Hohe Temperaturen und geringe Feuchtigkeit im Sommer und niedrige Temperaturen und sehr große Feuchtigkeit im Winter (Abb. 1, 3) haben wahrscheinlich den Populationsrückgang während dieser Zeit (vgl. Abb. 18a bis 24a) verursacht.

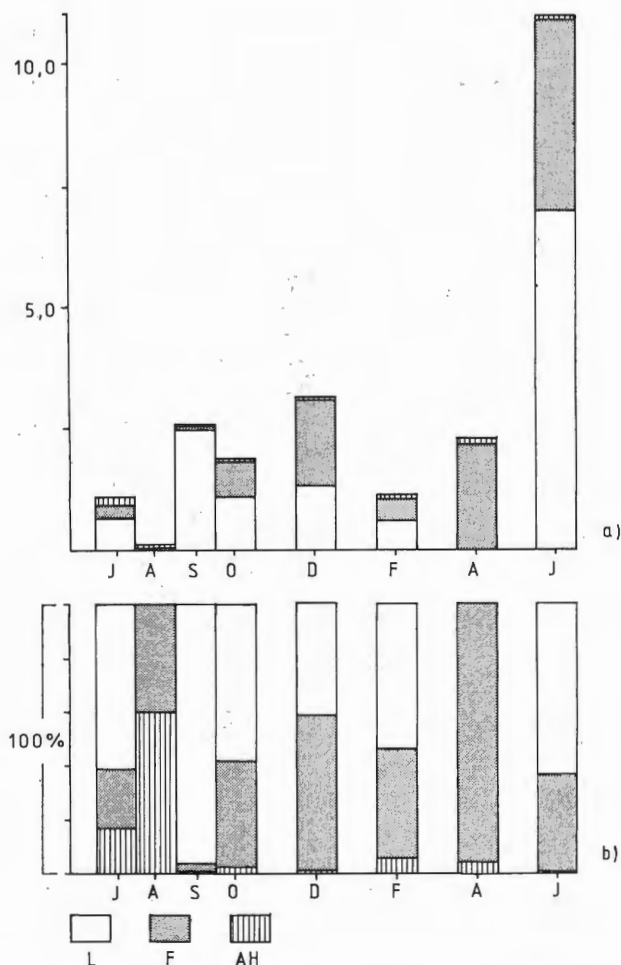


Abb. 21a, b: Absolute (a) und relative (b) Abundanzen von *Folsomia quadrioculata* (EB) in den Bodenschichten. Abszisse: Monate; Ordinate: a) Ind./3 kg TS x 1000 (L+F+AH), Ind./kg TS x 1000 (L, F, AH); b) Prozent.

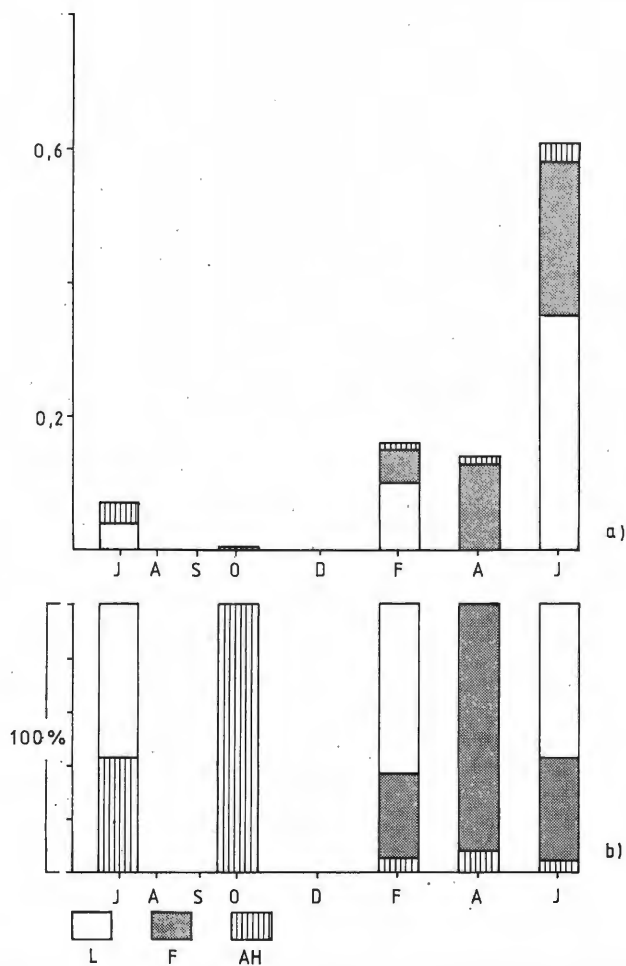


Abb. 22a, b: Absolute (a) und relative (b) Abundanzen von *Isotoma notabilis* (EB) in den Bodenschichten. Abszisse: Monate; Ordinate: a) Ind./3 kg TS x 1000 (L+F+AH), Ind./kg TS x 1000 (L, F, AH); b) Prozent.

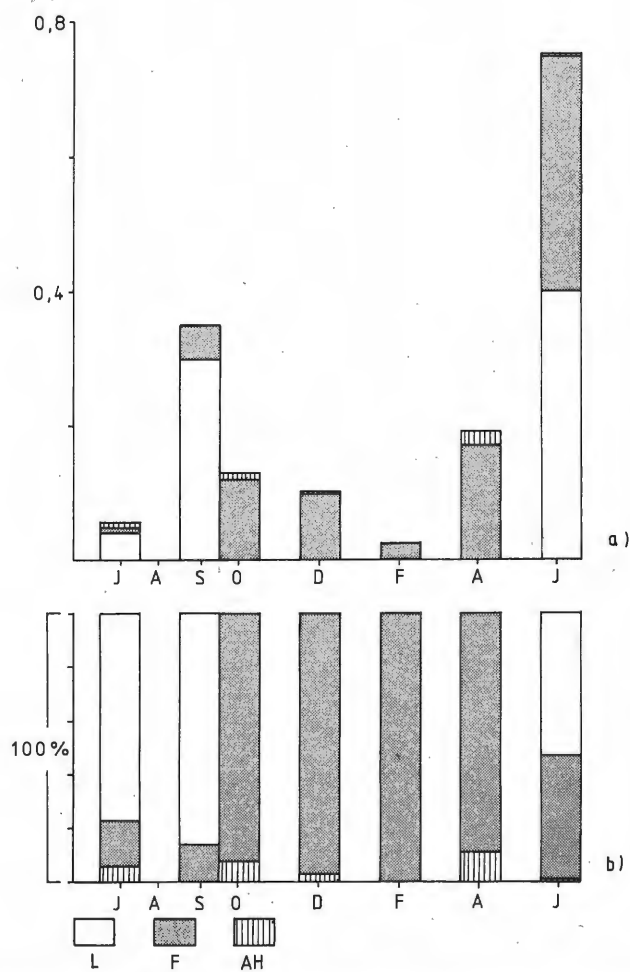


Abb. 23a, b: Absolute (a) und relative (b) Abundanzen von *Isotomiella minor*(EB) in den Bodenschichten. Abszisse: Monate; Ordinate: a) Ind./3 kg TS x 1000 (L+F+AH), Ind./kg TS x 1000 (L, F, AH); b) Prozent.

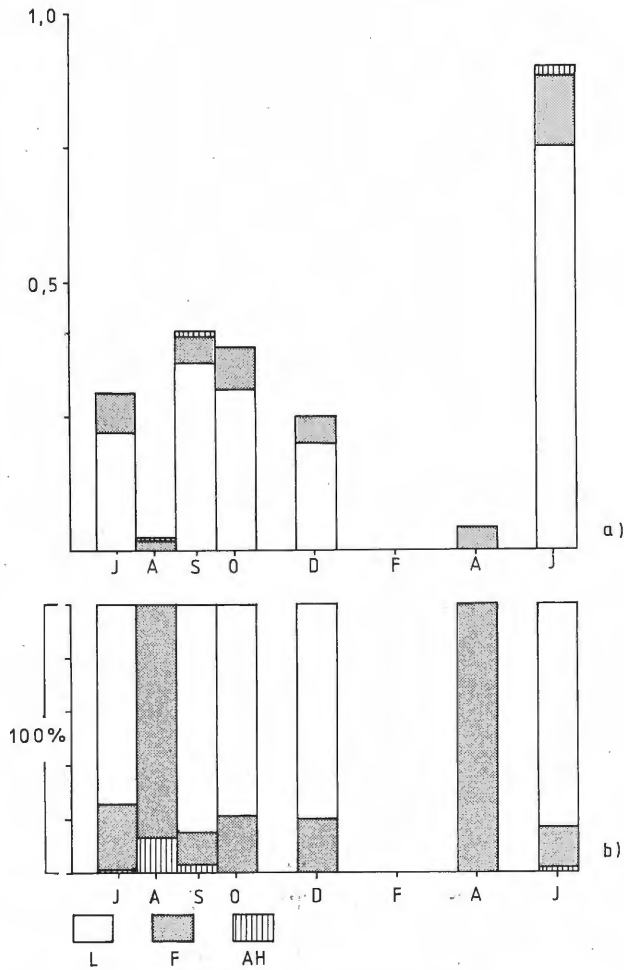


Abb. 24a, b: Absolute (a) und relative (b) Abundanzen von *Lepidocyrtus lanuginosus* (EB) in den Bodenschichten. Abszisse: Monate; Ordinate: a) Ind./3 kg TS x 1000 (L+F+AH), Ind./3 kg TS x 1000 (L, F, AH); b) Prozent.

4.4.2.2. Jahreszyklen

In EB war nur *Folsomia quadrioculata* in mindestens einer der Bodenschichten absolut konstant und besaß in dieser eine durchschnittliche Abundanz > 200 Ind./kg TS (Abb. 25). Fortpflanzungsrythmik und Größenklassenverteilung sind mit den Befunden an derselben Art in EF vergleichbar (Abb. 13).

4.4.2.3. Vertikalverteilung

Die Collembolenarten besiedelten hauptsächlich die L- und F-Schicht (Abb. 26). Die AH-Schicht wird von vielen Arten, jedoch wenigen Individuen aufgesucht. Während des ganzen Jahres wurden vier Arten nur in dieser Schicht nachgewiesen (Abb. 26). In der L-Schicht hielten sich verhältnismäßig viele Arten und Individuen der Onychiuriden auf. Die Verteilung der übrigen Arten entspricht den Lebensformtypen.

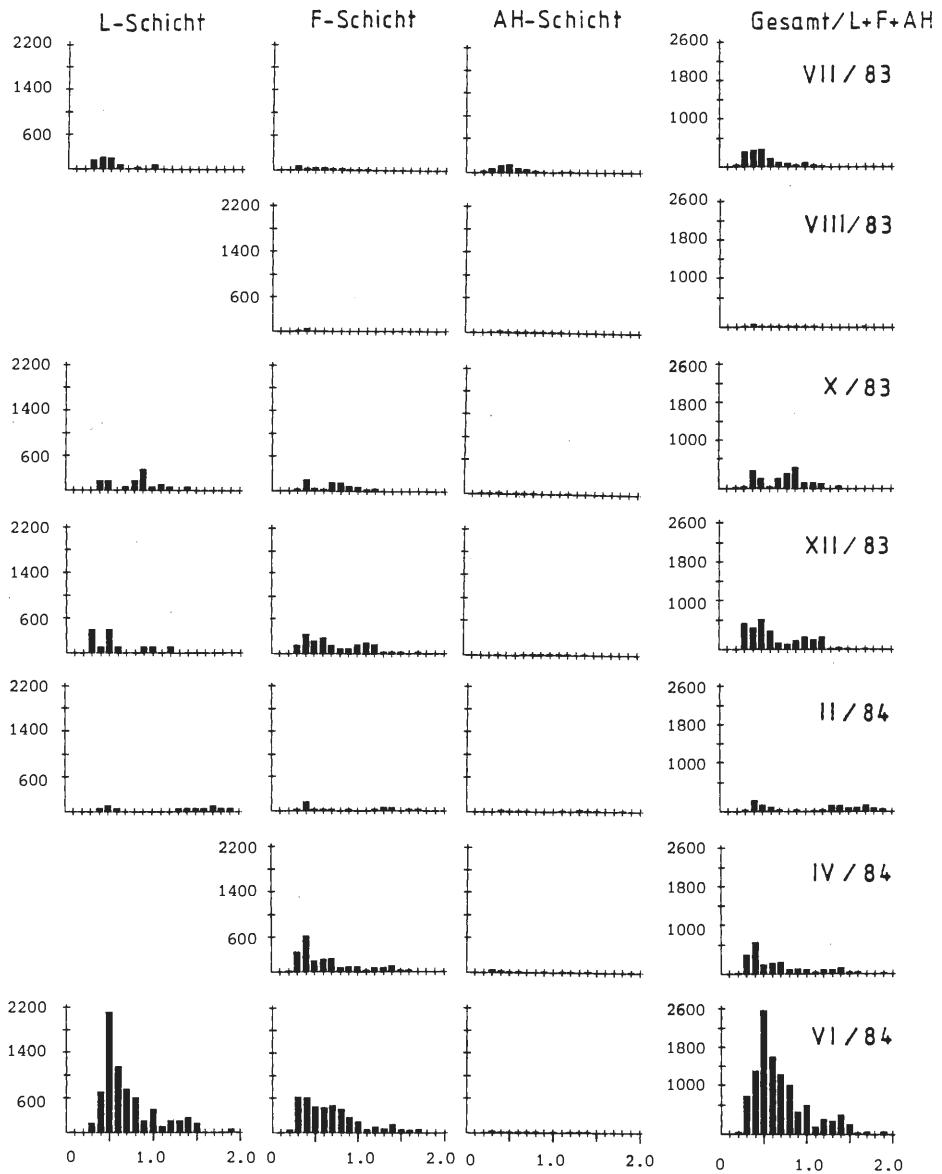


Abb. 25: Häufigkeit verschiedener Größenklassen von *Folsomia quadrioculata* (EB) in den einzelnen Bodenschichten (L, F, AH) und in allen drei Bodenschichten (Gesamt). Abzisse: Körperlänge (mm); Ordinate: Ind./kg TS (L,F,AH), Ind./ 3 kg TS (L+F+AH).

Vertikalwanderungen wurden im Herbst/Winter 1983 und im Frühsommer 1984 (s. Abb. 18b bis 24b) beobachtet. Im Sommer/Herbst 1983 lebten die Collembolen vorwiegend in der L-Schicht. Im Winter wurden meist die unteren Schichten (F- und AH-Schicht) besiedelt. Erst im Frühjahr 1984 wurde wieder vermehrt die L-Schicht aufgesucht (Abb. 18b bis 24b). Im August 1983 wurde bei den meisten Arten eine Vertikalwanderung nach unten (F- und/oder AH-Schicht) vorgetäuscht. In diesem Monat ging

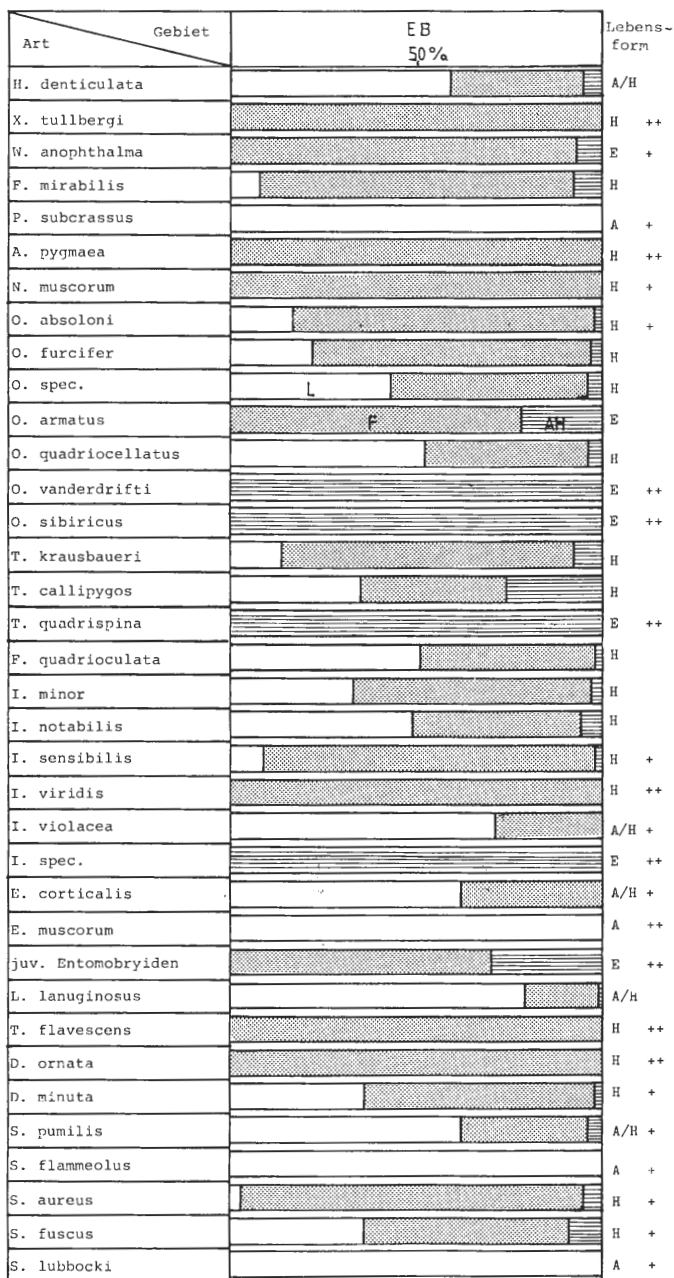


Abb. 26: Mittlere relative Häufigkeit der Arten in den Bodenschichten des Buchenbestandes (EB). Rechts: Zuordnung der Arten zu GISINs (1943) Lebensformtypen. A = atmobiont, H = hemiedaphisch, E = euedaphisch. + = Gesamtkonstanz < 30 %, ++ = Gesamtkonstanz < 30 % und Gesamtdominanz < 0,2 % (unsichere Zuordnung).

die Abundanz offensichtlich durch Klimaeinflüsse (Abb. 1, 3) drastisch zurück. Es ist nicht auszuschließen, daß viele Tiere, besonders aus der L-Schicht, abstarben, so daß nur die (wenigen) Individuen überlebten, die sich in der F- oder AH-Schicht befanden.

4.5. Faunenvergleich

4.5.1. Individuen- und Artenzahlen

EB ist im Vergleich zu EF dünn mit Collembolen besiedelt. Die Besiedlungsdichte schwankt je nach Saison in EB von 212 Ind./3 kg TS im August 1983 bis 18019 Ind./3 kg TS im Juni 1984 ($\bar{x}$ = 6638 Ind./3 kg TS), in EF von 4810 Ind./3 kg TS im August 1983 bis 17899 Ind./3 kg TS im Oktober 1983 ($\bar{x}$ = 9707 Ind./3 kg TS (Abb. 27).

Auffällig ist in beiden Gebieten die insgesamt geringe Besiedlungsdichte der AH-Schichten trotz sehr großer Porenvolumina und günstiger Feuchtigkeitsverhältnisse. In EB findet man in der F-Schicht durchschnittlich mehr Individuen als in der L-Schicht (Abb. 17). In EF schlägt diese Relation zugunsten der L-Schicht um (Abb. 5). Gemessen am jeweiligen Gesamtcollembolenbestand können die Abundanzen in der AH-Schicht vernachlässigt werden (s. Abb. 27). Betrachtet man den Abundanzverlauf in allen drei Schichten des Fichtenwaldes, so sieht man, daß die Gesamtkurve von der Präsenz der Collembolen in der L-Schicht geprägt ist. Ein deutliches Maximum ist im Oktober 1983 und ein mäßiger Abundanzanstieg im Sommer 1984 zu erkennen. Das ist vor allem auf das Massenaufreten von *Isotoma sensibilis* und *Folsomia quadrioculata* zurückzuführen (vgl. Abb. 9a, 10a). Vergleicht man die entsprechende Kurve aus EB (Abb. 27), fällt das Fehlen des Herbstmaximums auf. Der Abundanzanstieg zum Sommer 1984 fällt dagegen deutlicher aus als in EF. Dieses Sommermaximum ist vorwiegend auf *F. quadrioculata* und *Hypogastrura denticulata* zurückzuführen (Abb. 18a, 21a). Vom September 1983 bis April 1984 blieb die Besiedlungsdichte relativ konstant; die EB-Gesamtkurve (Abb. 27) weist in diesem Zeitraum ein 'Abundanzplateau' auf. Betrachtet man jedoch die einzelnen Bodenschichten, so ist in der L-Schicht im selben Zeitraum ein Rückgang der Populationsdichte zu verzeichnen, die jedoch parallel dazu in der F-Schicht ansteigt.

Artenarealkurven können Auskunft darüber geben, ob in den Untersuchungsgebieten bei weiterer Sammeltätigkeit noch neue Arten zu erwarten sind. Aus dem Verlauf der Kurve für EB kann geschlossen werden, daß bei weiteren Probenahmen hier noch mehrere, bisher nicht erfaßte Arten zu erwarten sind (Abb. 28a). Für EF nähert sich die Kurve einer Asymptote, d.h. daß hier mit großer Wahrscheinlichkeit das Artenspektrum erfaßt ist (Abb. 28b).

Abbildung 29 gibt Auskunft darüber, wieviele Arten zum jeweiligen Probenahme-termin in den einzelnen Schichten von EB und EF gefunden wurden und wieviele Arten sich durchschnittlich in den Proben befanden. Für beide Gebiete gilt, daß die Bodenschichten, die am dichtesten besiedelt sind, auch die meisten Arten enthalten (vgl. Abb. 27). In EB ist das die F-Schicht, in EF die L-Schicht. Auffallend sind die hohen Artenzahlen in den gering besiedelten AH-Horizonten (Abb. 29). Die Diagramme in Abb. 29 entsprechen in ihrem Verlauf den Abundanzkurven (vgl. Abb. 27) der jeweiligen Collembolengemeinschaften, d.h. ist die Individuendichte am höchsten, so erreichen auch die Artenzahlen die höchsten Werte. Ist die Abundanz gering, findet man auch nur wenige Arten. Stellt man den Artenzahlen die durchschnittlichen Indivi-

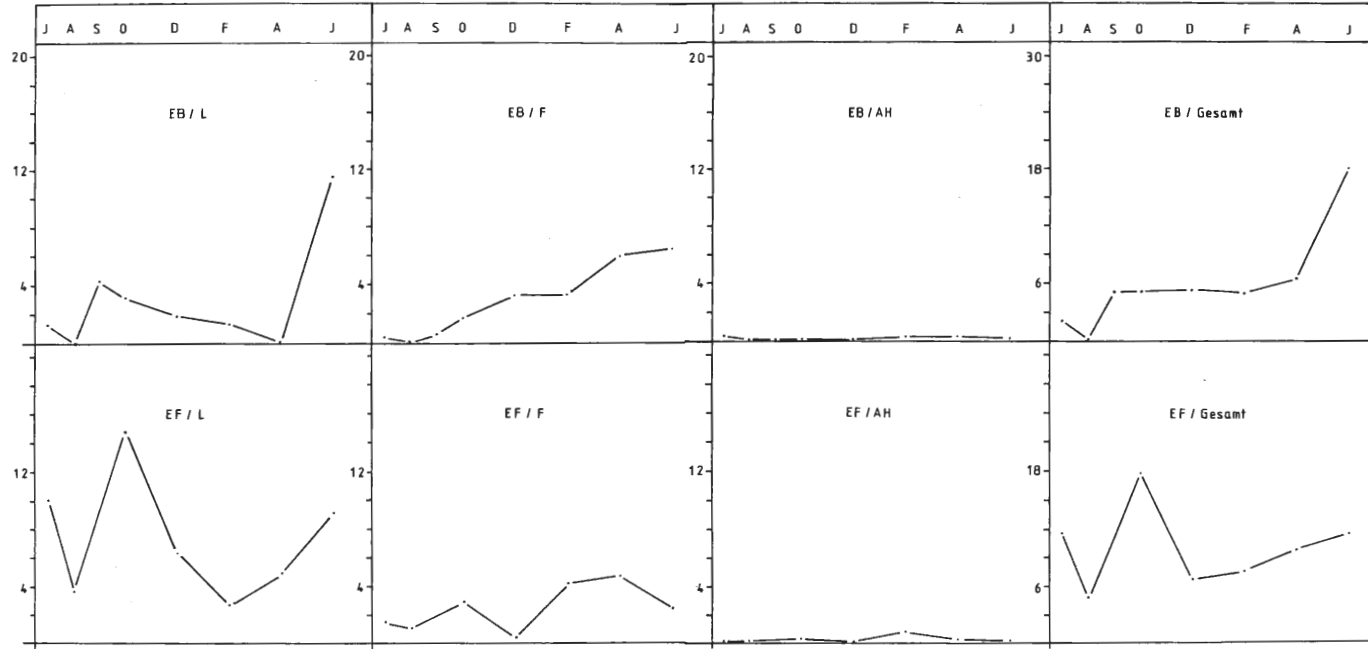


Abb. 27: Fluktuation der Gesamtzahl der Collembolen während eines Jahres (Juli 1983 – Juni 1984) in den einzelnen Bodenschichten (L, F, AH) und in allen drei Bodenschichten (Gesamt). Abszisse: Monate; Ordinate: Ind./3 kg TS x 1000 (L+F+AH), Ind./kg TS x 1000 (L, F, AH).

duenzahlen gegenüber, so ist EB das Gebiet kleinster Individuendichte mit den meisten Arten (Tab. 3, Abb. 17). In EF steht einer relativ geringen Individuenzahl auch eine kleine Artenzahl gegenüber (Tab. 3, Abb. 5).

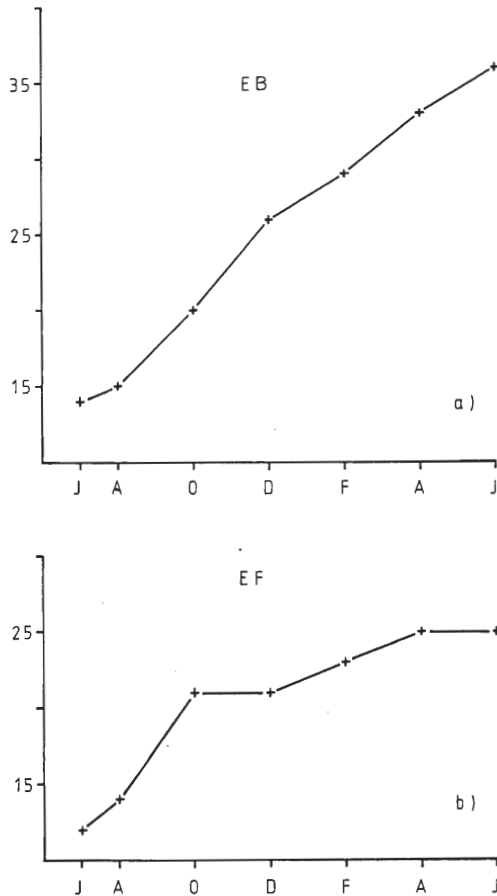


Abb. 28a, b: Artenarealkurven. Abszisse: Monate; Ordinate: kumulative Artenzahlen.

4.5.2. Ergänzende Indices zur Kennzeichnung der Artenstruktur

Die Diversität, die zusammen mit der vollständigen Erfassung der Artabundanzen und der Kennzeichnung der Dominanzstruktur erlaubt, Tiergemeinschaften zu beschreiben (vgl. MAY 1980), ist mit Hilfe verschiedener Indices meßbar (MÜHLENBERG 1976, ODUM 1983) (s. Tab. 4). Die allgemeine Artendiversität (H_S) setzt sich aus zwei Komponenten, dem Artenreichtum und der Gleichmäßigkeit zusammen (ODUM 1983). Für beide kann ein Index berechnet werden (Tab. 4). In den Index für Artenreichtum (d) gehen nur die Arten- und Individuenzahlen ein. Er wird umso größer, d.h. der Artenreichtum nimmt zu, je mehr Arten pro einer bestimmten Individuenzahl vorhanden sind. Demnach ist die Collembolengemeinschaft in EB am artenreichsten (Tab. 4). Hier steht einer großen Artenzahl eine kleine Individuenzahl gegenüber. Entsprechend seiner relativ geringen Artenzahl besitzt EF einen kleinen d-Wert.

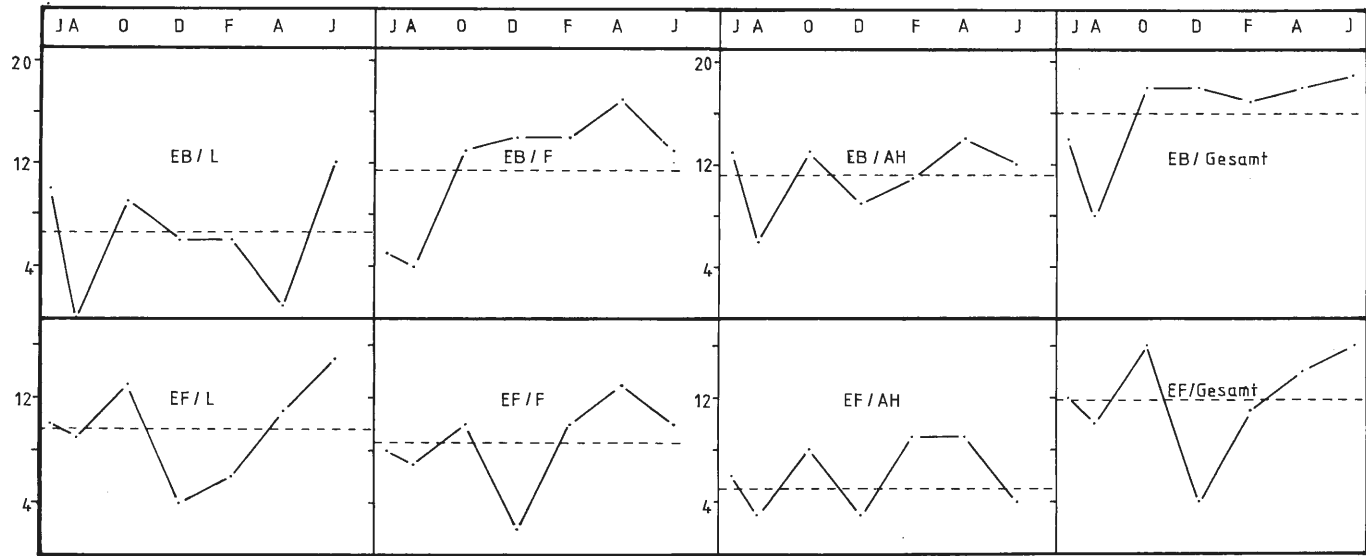


Abb. 29: Schwankungen der Artenzahlen in den einzelnen Bodenschichten (L, F, AH) und in allen Bodenschichten (Gesamt) der beiden Untersuchungsgebiete während eines Jahres. Abszisse: Monate; Ordinate: Artenzahlen. - - - = durchschnittliche Artenzahl.

Der allgemeine Diversitätsindex nach SHANNON (H_s) berücksichtigt die Anzahl der Arten und die Dominanzstruktur von Tiergemeinschaften, durch die eine gleichmäßige oder ungleichmäßige Verteilung der Individuen auf die einzelnen Arten zum Ausdruck kommt. H_s nimmt zu, wenn die Artenzahl steigt und/oder die Individuenverteilung gleichmäßiger wird, d.h. H_s erreicht den größten Wert, wenn alle Individuen einer Gemeinschaft einer anderen Art angehören. Besteht eine Tiergemeinschaft aus nur einer Art, ist H_s gleich 0 (MÜHLENBERG 1976, ODUM 1983). Eine Berechnung von e (Index für Gleichmäßigkeit) ist erforderlich, da H_s allein nicht erkennen läßt, ob er durch eine hohe Artenzahl mit jeweils unterschiedlicher Individuenzahl oder durch gleichmäßige Verteilung der Individuen auf die einzelnen Arten entstanden ist (MÜHLENBERG 1976). Für beide Indices (H_s , e) besitzt EF den kleineren Wert (Tab. 4).

Tab. 4: Indices der Artendiversität für die beiden Untersuchungsgebiete.

Unt.- Gebiet	S	N	d	H_s	e
EB	36	6642	3,9767	2,0770	0,5796
EF	25	9713	2,6140	1,6439	0,5107

S = Anzahl der Arten					
N = durchschnittliche Individuenzahl in allen drei Bodenschichten (L+ F+ AH)					
n_i = durchschnittliche Anzahl der Individuen pro Art					
$d = \frac{S - 1}{\ln N}$			Index für Artenreichtum (Varietät)		
$H_s = - \sum_{i=1}^S \left(\frac{n_i}{N} \right) \times \ln \left(\frac{n_i}{N} \right)$			SHANNON-Index für die allgemeine Diversität		
$e = \frac{H_s}{\ln S}$			Index für Gleichmäßigkeit (evenness)		

Mit Hilfe von Diversitätsindices sollen anthropogen bedingte Verschmutzungen aufgedeckt und beurteilt werden können (ODUM 1983), doch sind die hier genannten Indices stark methodenabhängig und können daher nicht immer mit Daten aus der Literatur verglichen werden (REMMERT 1978). Sie gewinnen ihre volle Aussagekraft bezüglich anthropogener Einflüsse auf Tiergemeinschaften erst dann, wenn langfristige Untersuchungen durchgeführt werden, die eventuell festgestellte niedrige Indices wiederholt bestätigen.

4.5.3. Indices zur Abschätzung der Ähnlichkeit zwischen den Collembolengemeinschaften

Der JACCARD-Index (J) gibt den Prozentsatz der in zwei Collembolengemeinschaften gemeinsam vorkommenden Arten, bezogen auf die in beiden Beständen insgesamt vorkommenden Arten an (BALOGH 1958). Die Formel zu seiner Berechnung lautet:

$$J = \frac{c}{a+b} \times 100$$
 (a = Anzahl der Arten in EB, b = Anzahl der Arten in EF, c = Anzahl der in EF und EB gemeinsam vorkommenden Arten). Danach ergibt sich für die beiden Untersuchungsgebiete eine Artenidentität von 34,4 %, d.h. EF und EB stimmen etwa mit einem Drittel ihres Artenspektrums überein.

Im JACCARD-Index ist jedoch nicht berücksichtigt, mit welchen Individuenzahlen die einzelnen Arten vertreten sind, d.h. die Dominanzstruktur bleibt unbeachtet. Nimmt man diese mit in die Berechnung auf, kommt man zum Index der Dominantenidentität (BALOGH 1958) (Dominanzverwandtschaft nach RENKONEN 1938). Nach diesem ergibt sich eine 58 %-ige Ähnlichkeit zwischen den Collembolenbeständen von EF und EB.

5. Schlußbetrachtung

Die vorliegende Studie, die erstmals Collembolengemeinschaften und ihre Änderungen während eines Jahres für einen Fichten- und Buchenwald in einem immissionsbelasteten Gebiet von NRW beschreibt (s. Einleitung), dient als Basis für längerfristige Untersuchungen, da in diesen Gebieten mit einer wahrscheinlich zunehmenden Verschlechterung der Lebensbedingungen nicht nur für die Vegetation, sondern auch für die Bodentierwelt gerechnet werden kann. Messungen von BLOCK und BARTELS (1984) sowie der LIS weisen auf einen z.T. beträchtlichen Schadstoffeintrag im Eggegebirge hin. Die während des Untersuchungszeitraumes von uns gemessenen pH-Werte des Bodens sind überraschend niedrig (s. Abb. 2c, 3c). Es fällt zudem auf, daß nur solche Collembolenarten dominant sind, die ein weites Spektrum von pH-Werten tolerieren.

In Anbetracht der niedrigen pH-Werte des Bodens und der Immissionsbelastung stellt sich die Frage, wie Collembolen darauf reagieren. Die erste Reaktion vieler Tiergemeinschaften auf Immissionsbelastungen besteht nach GORNY (1976) in einer Verschiebung des Artenspektrums, die sich dann infolge veränderter Lebensbedingungen in einer Verarmung des Arteninventars auswirken kann.

AGRELL (1941) und PACLT (1956) maßen dem pH-Wert keine Bedeutung als steuerndem Faktor für Abundanz- und Dominanzverhältnisse bei Collembolen zu. GISIN (1943) unterscheidet jedoch bereits zwischen acidophilen (z.B. *Willemia anophthalma*) und basophilen (z.B. *Onychiurus fimetarius*) Collembolenarten. Auch BIERINGER (1969) weist darauf hin, daß sich in einigen seiner Untersuchungen zur Wirkung von Herbiziden auf Collembolen der pH-Wert (hier pH 4,5) stärker auf Abundanz und Dominanz ausgewirkt haben könnte als die von ihm verwendeten Herbizide. Erst durch die im Freiland und im Labor durchgeführten künstlichen Beregnungsversuche mit Schwefelsäure (HÄGVAR 1978, ABRAHAMSEN et al. 1980, BÄÄTH et al. 1980, HÄGVAR und ABRAHAMSEN 1980, HÄGVAR und KJØNDAL 1981, HUHTA et al. 1982) konnten Veränderungen in der Abundanzdynamik und der Dominanzverhältnisse festgestellt werden. Künstliche Versauerung des Bodens über eine Dauer von einem Monat bis zu drei Jahren führte zur Zunahme der Individuendichte von Collembolen, die allerdings hauptsächlich durch den Anstieg euryöker Arten (*Tullbergia krausbaueri*, *Willemia anophthalma*, *Anurida pygmaea*) hervorgerufen wurde (HÄGVAR 1978, BÄÄTH et al. 1980). Artenverluste wurden für Collembolen durch anthropogen bedingte Bodenversauerung noch nicht festgestellt. Vielleicht ist das auf die bisher nur kurzen Untersuchungszeiträume zurückzuführen.

Stabile Tiergemeinschaften (oder Ökosysteme), die langfristig den biologischen Gleichgewichtszustand aufrechterhalten und ihn nach einer Störung wieder herstellen

können, sind durch eine hohe Diversität ausgezeichnet; umgekehrt wirkt die Erhöhung der Artendiversität auch systemstabilisierend (ALTENKIRCH 1977). Die Ermittlung von Diversitätsindices scheint deshalb ein geeignetes Instrument zu sein, um Immissions-einwirkungen auf Tiergemeinschaften erkennen zu können.

Ein Untersuchungszeitraum von nur einem Jahr ist sicher zu kurz, um eventuelle immissionsbedingte Veränderungen z.B. im Artenspektrum aufzudecken. Daher wollen wir im folgenden lediglich auf einige Befunde hinweisen, auf die bei den geplanten Folgeuntersuchungen besonders geachtet werden sollte.

Bei Berücksichtigung aller drei Bodenschichten zeigt sich, daß in beiden Collem-bolengemeinschaften der Anteil der seltenen Arten ungefähr 3/4 des jeweiligen Gesamtartenbestandes ausmacht. Verglichen mit Angaben aus der Literatur (50 %, HAGVAR 1982) ist das erstaunlich viel. Diese Tatsache muß nicht unbedingt Ausdruck einer Störung sein. Ein hoher Anteil an seltenen Arten in einem weiten Artenspektrum stellt zudem eine für Tiergemeinschaften wertvolle „genetische Reserve“ dar (HAGVAR 1982), die die Stabilität erhöht und damit die Störanfälligkeit einer Gemeinschaft verringert.

Vergleicht man Individuendichten und Artenzahlen von Collembolengemeinschaften mehrerer europäischer Fichten- und Buchenwälder, so fällt auf, daß EF und besonders EB im Untersuchungszeitraum unterdurchschnittlich mit Collem-bolen besiedelt sind. Das ist wahrscheinlich nicht auf den durch Klimaeinflüsse bedingten Abundanrückgang im Monat August 1983 zurückzuführen, denn der Mittelwert von 8517 Ind./m² würde sich nicht wesentlich erhöhen, wenn in diesem Monat eine gebiets-übliche Individuendichte von ca. 8000 Ind./m² erreicht worden wäre. Dichtemindernd haben sich vielleicht Meliorationsmaßnahmen (Aufreißen des Waldbodens) zur Buchenverjüngung im September 1983 ausgewirkt. Obwohl bei den Probenahmen darauf geachtet wurde, daß weitgehend unbeschädigte Stellen aufgesucht wurden, waren in weiten Teilen von EB die Humushorizonte umgeschichtet. In der Literatur liegen unseres Wissens keine Untersuchungen vor, die die Auswirkungen solcher Maßnahmen auf die Bodenfauna in Wäldern studieren. In der Landwirtschaft hat „für viele kleine, zarte Bodentiere . . . das Pflügen die Wirkung einer Elementarkatastrophe. Sie werden meist durch direkte mechanische Einwirkung verletzt oder getötet. Collem-bolen leiden durch Umbruch sehr stark, insgesamt gesehen überwinden sie diesen Eingriff aber sehr schnell, und ihre Populationsdichte steigt wieder an“ (PALISSA 1964b, S. 159). Das Schadensausmaß richtet sich dabei nach den verwendeten Arbeitsgeräten (die Rotationsegge hat z.B. den schlimmsten Effekt auf die Bodenfauna, vgl. PALISSA 1964b) und nach dem Zeitpunkt des Einsatzes. HAMMER (1949 nach KEVAN 1968) fand, daß durch Pflügen im Spätsommer/Herbst ein großer Anteil der Collem-bolen- und Oribatidenpopulationen stark dezimiert wird und die Populationen sich erst im folgenden Sommer erholen. Ähnlich könnte auch das fehlende Herbstmaximum und der sprunghafte Abundanzanstieg im Juni 1984 in EB erklärt werden. Die vorangegangene Trockenheit im Sommer 1983 mag noch einen verstärkenden Einfluß gehabt haben.

In Mullböden dominiert stets die Bodenmakrofauna über die Bodenmesofauna, was sich in der unterschiedlichen Zersetzungsgeschwindigkeit der Bodenstreu und in der Dicke der Streuschicht ausdrückt. Die umgekehrten Verhältnisse findet man in Moderböden vor (THIELE 1964, SCHAUERMANN 1977). Nach WALLWORK (1970) und PETERSEN (1980) ist die Individuendichte von Collem-bolen entsprechend ihrer Zugehörigkeit zur Mesofauna in Moderhumusböden um ein Vielfaches größer als in Mullböden. Tatsächlich findet man in EB mit seinem Mull bis mullartigen Moder sehr viele

2a, 3a, 27). Die im Untersuchungszeitraum in EF und EB nachgewiesenen Artenzahlen sind mit Werten aus der Literatur für Fichten- und Buchenwälder vergleichbar (Tab. 5). Die Anzahl der Arten scheint ebenso wie die Individuendichte von der Humusform abhängig zu sein. Der Boden des Kalkbuchenwaldes in der Egge enthält die meisten Arten, der Fichtenwald auf Rohhumus die wenigsten. Auffallend ist die trotz geringer Besiedlungsdichte große Anzahl von Arten in der AH-Schicht von EB (Abb. 29). Hier ist die Abundanz in der F-Schicht am größten, so daß man in dieser Schicht mehr Arten als in der L- und AH-Schicht erwarten könnte. Untersuchungen von HÄGVAR (1983) und die vorliegenden Ergebnisse zeigen aber, daß die Artenzahl mit zunehmender Bodentiefe langsamer abnimmt als die Abundanz. HÄGVAR (1983) erklärt diese Tatsache mit einem besonderen Reichtum günstiger Kleinbiotope in der AH-Schicht, mit ausreichendem Nahrungsangebot, günstigen Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnissen, ausreichendem Gasaustausch und nachlassendem Feind- und Konkurrenzdruck.

EF ist dagegen in der L-Schicht am dichtesten mit Collembolen besiedelt. Hier wurden auch die meisten Arten nachgewiesen. Generell scheint es so zu sein, daß Collembolen in Nadelwäldern die oberste Bodenschicht bevorzugt besiedeln (HÄGVAR 1983). Ebenso wie in dem Buchenwald nimmt in EF die Artenzahl mit zunehmender Tiefe langsamer ab als die Besiedlungsdichte (Abb. 27, 29).

Flechtenkartierungen, u.a. nach dem „Index of atmospheric purity“, die im Rahmen unseres Projektes durchgeführt worden sind, deuten darauf hin, daß der Buchenwald der Forstabteilung 181, zu der auch EF gehört, im Vergleich zu höher gelegenen Forstabteilungen einen noch relativ hohen IAP-Wert besitzt und damit nicht ganz so stark belastet zu sein scheint wie jene (MASUCH 1984, 1985).

Wir glauben daher, daß aufgrund der vorliegenden Befunde beide Gebiete zusammen mit höher und niedriger gelegenen Forstabteilungen, die zu Vergleichszwecken mit untersucht werden sollten, für langfristige immissionsökologische Untersuchungen geeignet sind.

Danksagungen

Die Untersuchungen wurden im Rahmen des Projektes „Labor- und Freilanduntersuchungen zur Wirkung von Immissionen auf ausgewählte Organismen“ durchgeführt. Wir danken dem Gesamtverband des Deutschen Steinkohlenbergbaus für finanzielle Unterstützung, der Forstverwaltung Paderborn für die Sammelerlaubnis, Herrn J. Koglin, Karlsruhe, für Bestimmungshilfen, Herrn J. Schoch, Münster, für die Einführung in die elektronische Datenverarbeitung sowie den Herren Drs. J. Ballach und J. Fricke, Gesamtverband des Deutschen Steinkohlenbergbaus Essen, für Angaben zur Immissionsbelastung des Eggegebirges. Die meteorologischen Daten wurden freundlicherweise vom Deutschen Wetterdienst, Wetteramt Essen, zur Verfügung gestellt.

Literatur

- ABRAHAMSEN, G., HOVLAND, J. & S. HÄGVAR (1980): Effects of artificial acid rain und liming on soil organisms and the decomposition of organic matter. – In: HUTCHINSON, T. C. & M. HAVAS, eds.: Effects of acid precipitation on terrestrial ecosystems. – New York und London. 341-362.
- AGRELL, I. (1941): Zur Ökologie der Collembolen. Untersuchungen im schwedischen Lappland. – Lund.
- ALTENKIRCH, W. (1977): Ökologie. Studienbücher Biologie. – Aarau, Frankfurt am Main und Salzburg.

- ARBEITSGEMEINSCHAFT BODENKUNDE DER GEOLOGISCHEN LANDESÄMTER UND DER BUNDESANSTALT FÜR BODENKUNDE DER BRD, ed. (1981): Kartieranleitung. – Hannover.
- BAÄTH, E., BERG, B., LOHM, U. LUNDGREN, B., LUNDKVIST, H., ROSSWALL, T., SÖDERSTRÖM, B. & A. WIREN (1980): Effects of experimental acidification on soil organisms and decomposition in a Scots pine forest. – *Pedobiologia* 20: 85-100.
- BALLACH, H. J. & J. C. BRANDT (1985): Verteilung der Fichtenschäden in Nordrhein-Westfalen. – *Staub-Reinhalt. Luft* 45: 1-6.
- BALOGH, J. (1958): Lebensgemeinschaften der Landtiere. – Berlin.
- BECK, L. (1983): Zur Bodenbiologie des Laubwaldes. – *Verh. Dtsch. Zool. Ges.* 76: 37-54.
- BECK, L. & J. KOGLIN (1983): Wirkung von Umweltveränderungen auf die Collembolenfauna (Insecta, Apterygota) eines Buchenwaldbodens. – *Verh. Dtsch. Zool. Ges.* 76: 218.
- BENGTTSSON, G., GUNNARSON, T. & S. RUNDGREN (1983): Growth changes caused by metal uptake in a population of *Onychiurus armatus* (Collembola) feeding on metal polluted fungi. – *Oikos* 40: 216-225.
- BIERINGER, H. (1969): Untersuchungen über den Einfluß langjähriger Herbizidanwendung auf Boden-Collembolen. – Diss. Hohenheim.
- BLOCK, J. & U. BARTELS (1984): Hoher Schadstoffeintrag in unseren Wäldern. Pilotprojekt „saure Niederschläge“. Ergebnisse der sieben Stationen – Meßjahr 82/83. – *Mitt. Landesanst. Ökol. NRW* 9: 14-20.
- CHRISTIANSEN, K. (1964): Bionomics of Collembola. – *Ann. Rev. Entomol.* 9: 147-178.
- DOPPELREITER, H. (1979): Untersuchungen über Artenspektrum, Verteilung und Biozidempfindlichkeit von Collembolen in Fichtenwaldböden. – *Z. angew. Ent.* 88: 453-470.
- DUNGER, W. (1956): Untersuchungen über Laubstreuersetzung durch Collembolen. – *Zool. Jb. Syst.* 84: 75-98.
- ,– (1963): Leistungsspezifität bei Streuersetzer. In: DOEKSEN, J. & J. van der DRIFT, eds.: Soil organisms. – Amsterdam. 92-102.
- ,– (1964): Die Bedeutung der Bodenfauna für die Streuersetzung. – In: Bedeutung und Möglichkeiten der Faunistik und Ökologie für Landschaftspflege und Naturschutz. Vorträge der erweiterten Sitzung der Ständigen Kommission für Landschaftspflege und Naturschutz der Deutschen Akademie der Landwirtschaftswissenschaften zu Berlin am 28. und 29. November 1962 in Berlin. Tagungsberichte Nr. 60: 99-114.
- ,– (1974): Tiere im Boden. Die Neue Brehm Bücherei Bd. 327. – Wittenberg, Lutherstadt. 2. Aufl.
- DUNGER, W., DUNGER, I. ENGELMANN, H. D. & R. SCHNEIDER (1972): Untersuchungen zur Langzeitwirkung von Industrie-Emissionen auf Böden, Vegetation und Bodenfauna des Neißetales bei Ostritz/Oberlausitz. – *Abhandlungen und Berichte des Naturkundemuseums Görlitz* 47: 1-40.
- EDWARDS, C. A. (1969): Soil pollutants and soil animals. – *Sci. Am.* 220: 88-92.
- EDWARDS, C. A. & K. E. FLETCHER (1971): A comparison of extraction methods for terrestrial arthropods. – In: PHILLIPSEN, J., ed.: Methods of study in quantitative soil ecology: population, production and energy flow. IPB Handbook 18. – Oxford. 150-185.
- EHRENHARDT, H. & H. SCHNEIDER (1955): Toxizitätsstudien an der Collembole *Onychiurus armatus*. – *Z. angew. Ent.* 37: 358-371.
- GENBLER, H. (1984): Sorgenvolle Bilanz: Das Siechtum geht weiter. Ergebnisse der Waldschadenserhebung 1984 in NRW. – *Mitt. Landesanst. Ökol. NRW* 4 (9): 4-12.
- GESAMTVERBAND DES DEUTSCHEN STEINKOHLBERGBAUS, ed. (1983): Saurer Regen und Forstschäden. 2. Aufl.
- GISIN, H. (1943): Ökologie und Lebensgemeinschaft der Collembolen im schweizerischen Exkursionsgebiet Basels. – Diss. Basel.
- ,– (1960): Collembolenfauna Europas. – Genf.
- GORNY, M. (1976): Einige pedo-ökologische Probleme der Wirkung von industriellen Immissionen auf Waldstandorte. – *Pedobiologia* 16: 27-35.
- GREVEN, H., HOLTERMANN, D., JUNGBLUTH, J. H. & WILLECKE, S. (in Vorbereitung): Vergleichend malakosoziologische Untersuchungen in Buchen- und Fichtenwäldern des Eggegebirges und des Sauerlandes.
- HÄGVAR, S. (1978): Acidification experiments in conifer forest. 6. Effects of acidification and liming on Collembola and Acarina. SNSF intern rapport 36/78. – Oslo-Ås.

- , (1982): Collembola in Norwegian coniferous forest soils. I. Relations to plant communities and soil fertility. - *Pedobiologia* 24: 255-296.
- , (1983): Collembola in Norwegian coniferous forest soils. II. Vertical distribution. - *Pedobiologia* 25: 383-401.
- HAGVAR, S. & G. ABRAHAMSEN (1980): Colonisation by Enchytraeidae, Collembola and Acari in sterile soil samples with adjusted pH levels. - *Oikos* 34: 245-258.
- HAGVAR, S. & B. R. KJØNDAL (1981): Effects of artificial acid rain on the microarthropod fauna in decomposing birch leaves. - *Pedobiologia* 22: 409-422.
- HALE, W. G. (1967): Collembola. - In: BURGESS, A. & F. RAW, eds.: *Soil biology*. - London und New York. 397-411.
- HANLON, R. D. G. & J. M. ANDERSON (1979): The effects of Collembola grazing on microbial activity in decomposing leaf litter. - *Oecologia* 38: 93-99.
- , (1981): Influence of grazing by Collembola on the activity of senescent fungal colonies grown on media of different nutrient concentration. - *Oikos* 36: 362-367.
- HÖFKEN, K. D., GEORGI, H. W. & GRAVENHORST (1981): Untersuchungen über die Deposition atmosphärischer Spurenstoffe an Buchen- und Fichtenwald. *Berichte des Instituts für Meteorologie und Geophysik*, Nr. 46. - Univ. Frankfurt/Main.
- HÜTHER, W. (1961): Ökologische Untersuchungen über die Fauna pfälzischer Weinbergsböden mit besonderer Berücksichtigung der Collembolen und Milben. - *Zool. Jb. Syst.* 89: 243-368.
- HUHTA, V., HYVÖNEN, R., KOSKENNIEMI, A. & P. VILKAMAA (1982): Role of pH in the effect of fertilization on Nematoda, Oligochaeta and microarthropods. - In: LEBRUN, P., ANDRÉ, H. M., DE MEDTS, A., GRÉGOIRE-WIBO, C. & G. WAUTHY, eds.: *Neue Richtlinien der Bodenzöologie. Verhandlungen des VIII. Internationalen Kolloquium der Bodenzöologie*. 30. August - 2. September 1982. - Louvain-La Neuve. Belgique. 61-73.
- JOOSSE, E. N. G. & S. C. VERHOEF (1983): Lead tolerance in Collembola. - *Pedobiologia* 25: 11-18.
- KEVAN, D. K. McE., ed. (1968): *Soil animals*. - London.
- KILHAM, K. & M. WAINWRIGHT (1981): Deciduous leaf litter and cellulose decomposition in soil exposed to heavy atmospheric pollution. - *Environ. Poll., Series A*, 26: 79-85.
- KOGLIN, J. (1979): Besiedlung eines Buchenwaldbodens durch Collembolen. - Zulassungsarbeit für die wissenschaftliche Prüfung für das Lehramt an Gymnasien an der Universität Karlsruhe im Fach Biologie.
- LANDESANSTALT FÜR IMMISSIONSSCHUTZ DES LANDES NRW, ed. (1982): *Waldschäden in der BRD*. - LIS-Berichte Nr. 28.
- , LIS-Monatsberichte Oktober 1983 bis Februar 1985
- LEINAAS, H. P. (1978): Seasonal variation in sampling efficiency of Collembola and Protura. - *Oikos* 31: 307-312.
- MASUCH, G. (1984): Besiedlungssukzessionen der Flechte *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. entlang eines Höhengradienten im Eggegebirge. - *Staub-Reinhalt. Luft* 44: 492-496.
- , (1985): Flechtenkartierung entlang eines Niederschlagsgradienten im Eggegebirge. - *Staub-Reinhalt. Luft* 45: 573-578.
- MAY, R. M. (1980): *Theoretische Ökologie*. - Weinheim. Deerfield Beach, Florida. Basel.
- MELF (Minister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten des Landes NRW), ed. (1983): *Saurer Regen - Gefahr für unseren Wald*.
- MÜHLENBERG, M. (1976): *Freilandökologie*. - Heidelberg.
- ODUM, E. P. (1983): *Grundlagen der Ökologie*. Band 1. - Stuttgart und New York. 2. Aufl.
- PACLT, J. (1956): *Biologie der primär flügellosen Insekten*. - Jena.
- PALISSA, A. (1964a): Apterygota. - In: BROHMER, P., EHRLMANN, P. & G. ULMER: *Die Tierwelt Mitteleuropas. Insekten* 1. Teil. - Leipzig.
- , (1964b): *Bodenzöologie in Wissenschaft, Naturhaushalt und Wirtschaft*. - Berlin.
- PETERSEN, H. (1980): Population dynamics and metabolic characterization of Collembola species in an beech forest ecosystem. - In: DINDAL, D. L., ed.: *Soil biology as related to land use practices, Proc. VII. Int. Soil Zool. Colloq. of the ISSS, Syracuse, New York*, 29. Juli bis 3. August 1979. - EPA Washington D. C., 806-833.
- POOLE, T. B. (1959): Studies on the food of Collembola in a douglas fir plantation. - *Proc. Zool. Soc. London* 132: 71-82.
- PURRINI, K. (1982): Soil invertebrates infected by microorganisms. - In: LEBRUN, P., ANDRÉ, H. M., DE MEDTS, A., GRÉGOIRE-WIBO, C. & G. WAUTHY, eds.: *Neue Richtlinien der Bodenzöologie*.

- Verhandlungen des VIII. Internationalen Kolloquium der Bodenzologie. 30. August bis 2. September 1982. – Louvain-La Neuve. Belgique. 167-178.
- REHFUESS, K. E. (1981): Waldböden. Entwicklung, Eigenschaften und Nutzung. – Hamburg und Berlin.
- REMMERT, H. (1978): Ökologie. – Berlin.
- RENKONEN, O. (1938): Statistisch-ökologische Untersuchungen über die terrestrische Käferwelt der finnischen Bruchmoore. – Ann. Zool. Soc. Zool. Bot. Fenn. 6: 1-226.
- RUSEK, J. (1975): Die bodenbildende Funktion von Collembolen und Acarina. – Pedobiologia 15: 299-308.
- SCHALLER, F. (1970): Collembola. – Handbuch der Zoologie Band IV, 2. Hälfte, Insecta, 2. Teil, Lieferung 12: 1-71. – Berlin.
- SCHAUERMANN, J. (1977): Zur Abundanz- und Biomassedynamik der Tiere in Buchenwäldern des Solling. – Verh. Ges. Ökologie, Göttingen. – W. Junk, Den Haag. 113-124.
- SCHAEFFER, F. & P. SCHACHTSCHABEL (1979): Lehrbuch der Bodenkunde. – Stuttgart. 10. Aufl.
- SCHROEDER, D. (1972): Bodenkunde in Stichworten. – Kiel 2. Aufl.
- SCHWEDTFEGER, F. (1975): Ökologie der Tiere. Band III: Synökologie. – Hamburg und Berlin.
- STEUBING, L. (1965): Pflanzenökologisches Praktikum. Methoden und Geräte zur Bestimmung wichtiger Standortsfaktoren. – Berlin und Hamburg.
- THIELE, H. U. (1964): Bodentiere und Bodenfruchtbarkeit. – Naturw. Rdsch. 17: 6, 224-230.
- ULRICH, B. (1982): Gefahren für das Waldökosystem durch saure Niederschläge. – Mitt. Landesanst. Ökol. NRW, Sonderheft, 9-25.
- WALLWORK, J. A. (1970): Ecology of soil animals. – London.
- WOLTERS, V. (1983): Ökologische Untersuchungen an Collembolen eines Kalkbuchenwaldes auf Kalk. – Pedobiologia 25: 73-85.

Anschriften der Verfasser: Dipl.Biol. Joachim Gerdsmeyer, Zoologisches Institut der Universität, Hüfferstr. 1, D-4400 Münster
 Prof. Dr. Hartmut Greven, Zoologisches Institut der Universität (Zoologie II), Universitätsstr. 1, D-4000 Düsseldorf 1

