

WOLFGANG SCHÖNBORN & KLAUS DUMPERT

Zur Biologie eines Buchenwaldbodens

8. Die Mikroflora

Kurzfassung

Im Rahmen eines Forschungsprogramms „Zur Biologie eines Buchenwaldbodens“ wurden Biomasse und Basalrespiration der Mikroflora über einen Zeitraum von vier Jahren (1982–1985) aus Netzbeuteln verschiedener Maschenweite und aus Quadratproben der Streuschicht bestimmt.

Die Basis für die Entwicklung der Mikroorganismen bildet der jährliche Streufall, der im Durchschnitt etwas über 500 g Trockensubstanz pro Quadratmeter beträgt. Die durchschnittlichen Biomassekonzentrationen betragen in der L-, F- und H-Schicht 3160, 2230 und 740 mg Bio-C je 100 g Streu (Bio-C: in mikrobieller Biomasse gebundener Kohlenstoff) und summierte sich in der L-, F- und H-Schicht zu 15, 39 und 13 g Bio-C je m², das sind jeweils 5,9, 5,5 und 3,6 % des durchschnittlichen C-Gehaltes dieser Schichten. Im Jahre 1983 erreichten die Biomassen ihr Maximum. Die Bio-C-Konzentration korreliert schwach mit den Niederschlägen der letzten zwei Wochen vor der Probenahme, nicht aber mit der Temperatur. Die Atmungsintensität der Biomasse in der L- und F-Schicht beträgt durchschnittlich 6,7 bzw. 6,0 ml CO₂/g Bio-C h und in der H-Schicht 4,2 ml/g h (22°), das sind 27, 24 und 17 % der maximalen Kapazität.

Versuche in Netzbeuteln, die eine Portion Streu von der Freifläche abgrenzen bzw. durch sehr feinmaschigen Stoff den Zutritt der Bodenfauna verhindern, wiesen eine verzögerte Biomassebildung auf. Dieser geringeren Biomasse stand jedoch ein größeres Nährsubstrat-Angebot gegenüber, so daß die Atmungsintensität während der Jahre 1983 und 1984 erhöht war.

Abstract

Studies on the biology of a beech wood soil.

8. Microorganisms

As a part of a research program, entitled „Studies on the biology of a beech wood soil“ the microbial biomass and respiration was measured in forest floor substrate directly taken or exposed in litterbags during a period of four years (1982–1985). The research area is located in the north of the Black Forest about 15 km south of Karlsruhe in the Stadtwald Ettlingen.

The yearly litter-fall mainly by leaf-fall in autumn amounts to about 500 g dry matter per square meter and constitutes the base of microbial growth. The mean concentrations of biomass amount to 3160, 2230 and 740 mg bio-C per 100 g litter (bio-C: microbial biomass carbon) in the L-, F- and H-layer, respectively, summing up to 15, 39 and 13 g bio-C per m² in the respective layers. These amounts correspond to 5.9, 5.5 and 3.6 % of the carbon content of the L-, F- and H-layer, respectively. The biomasses had their maximum in 1983.

The bio-C concentration correlates slightly with the amount of the rain, fallen in the last two weeks before sampling. The temperature effecting a drying of the litter substrate shows no influence on the bio-C concentration.

Die Untersuchungen wurden durch Mittel des Bundesministeriums für Forschung und Technologie finanziert.

Zur Biologie eines Buchenwaldbodens 7 Carolinea, 43: 105–112.

The respiration rate of the biomass was 6.7, 6.0 and 4.2 ml CO₂ per g bio-C per hour (22°C) in the mean for the L-, F- and H-layer, respectively, resulting in 27, 24 and 17 % of the maximum respiration capacity. Therefore, the nutrient supply is sufficient merely for the maintenance metabolism and dormant states, respectively, of the largest part of the biomass.

Litter mash bags were used to separate a given amount of leaf litter from the surroundings and the hindrance of entry of the soil fauna, respectively. The biomass growth was reduced in the litter bags. Therefore a larger nutrient supply was available to the reduced biomass resulting in an increase of the respiration rate during 1983 and 1984.

Autoren

Dr. WOLFGANG SCHÖNBORN & Dr. KLAUS DUMPERT, Battelle-Institut e. V., Postfach 900160, Am Römerhof 35, D-6000 Frankfurt am Main 90

1. Einleitung

Unsere heimischen Wälder sind – unter dem Gesichtspunkt der Nährstoffversorgung betrachtet – naturnahe und weitgehend selbständige Pflanzenbestände, deren Nährstoffe letztlich zwei Quellen entstammen, der Atmosphäre und der Lithosphäre. Während aus der Atmosphäre hauptsächlich Sauerstoff, Wasserstoff, Kohlenstoff und Stickstoff kommen, liefert die Lithosphäre im wesentlichen mineralische Nährstoffe, die, wie die Alkali-, Erdalkali- und sonstigen Metalle, durch Verwitterung freigesetzt werden. Zusätzlich spielt der interne Nährstoffumsatz, insbesondere die Rückführung der im Bestandesabfall gebundenen Nährstoffe in pflanzenverfügbare Form für den Stoff- und Energiehaushalt der Wälder eine außerordentlich große Rolle (BECK 1984). Zu dieser Rückführung des im wesentlichen pflanzlichen Bestandesabfalls, die ihren Abschluß in der Remineralisierung findet, tragen hauptsächlich zwei Gruppen von Organismen bei, die Mikroflora und die Bodenfauna. Die Rolle der Bodenfauna beim Abbau des Bestandesabfalls wird seit 1976 in einem Moder-Buchenwald auf dem Mittleren Buntsandstein des nördlichen Schwarzwaldvorlandes bei Ettlingen untersucht (BECK 1978, 1983, 1984). Parallel dazu wurde seit 1982 die Biomasse der Bakterien und Pilze und damit der wesentlichen Gruppen der Mikroflora aus der Bodenstreu bis einschließlich 1985 erfaßt. Die Erkenntnisse, die sich daraus für die Rolle der Mikroflora beim Abbau des Bestandesabfalls ableiten lassen, sind im folgenden dargestellt.

2. Untersuchungsgebiet und Methoden

2.1 Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet liegt im Stadtwald Ettlingen, ca. 15 km südlich von Karlsruhe im nördlichen Schwarzwaldvorland, 310–340 m über NN. Das langjährige Jahresmittel der Temperatur beträgt 8,3 °C, das der Niederschläge 1040 mm für die Jahre 1979–1984. Die Versuchsfläche liegt in einem Sauerhumus- oder Moder-Buchenwald (Luzulo-Fagetum) auf einem NO-Hang mit einer Hangneigung von 10–15°. Der Boden ist eine vom Geröll des Mittleren Buntsandsteins durchsetzte oligotrophe Braunerde mit etwa 10 cm A-Horizont auf einem 60–90 cm mächtigen B-Horizont und einem pH-Wert von 3,1–4,2 (CaCl₂) (SCHWEIKLE, briefl. Mitt.). Die Streuauflage mit einem pH-Wert zwischen 3,8 und 4,7 (H₂O) ist deutlich in L-Schicht mit weitgehend unzersetztem Fallaub, F-Schicht als hauptsächlichem Ort des Abbaus und H-Schicht als Ort der Umwandlung und Speicherung von Humus gegliedert. Aufbau und Zusammensetzung der Streuauflage in ihrer Wechselwirkung mit der Streuproduktion, dem Niederschlag und der Temperatur wurden eingehend von BECK & MITTMANN (1982) dargestellt.

2.2 Methoden

Die Mikroflora wurde sowohl in Quadratproben wie in Netzbeuteln untersucht. Die Netzbeutel wurden mit etwa 40 g Laub des Streujahrgangs 1981 gefüllt, zugenäht, bis zur Gewichtskonstanz bei Raumtemperatur getrocknet, ausgewogen und auf dem Waldboden ausgelegt. Die Beutel bestanden aus schwer zersetzbarem Kunststoff und hatten unterschiedliche Maschenweiten, um verschiedene Tiergruppen aus den Beuteln auszuschließen. Die feine Maschenweite betrug 21 µm und die grobe

10 mm. Mit 21 µm Maschenweite wurde nahezu die gesamte Bodenfauna vom Inneren der Beutel ferngehalten, während die Maschenweite von 10 mm auch der Makro- und Megafauna gestattete, in die Beutel einzudringen. Insgesamt wurden so viele Netzbeutel ausgelegt, daß über einen Zeitraum von fünf Jahren alle zwei Monate je ein Beutel mit verschiedenen Maschenweiten ins Labor geholt und untersucht werden konnte. In den Monaten, in denen keine Netzbeuteluntersuchungen vorgesehen waren, wurden Quadratproben (3 x 1/9 m² von verschiedenen Stellen der Versuchsfläche, die zu einer Mischprobe vereint wurden) ins Labor geholt und ebenso wie die Netzbeutelproben untersucht.

Die Untersuchungen der Netzbeutel- und Quadratproben umfaßten die Bestimmung der mikrobiologischen Biomasse und der Basalatmung. Zur Bestimmung der mikrobiologischen Biomasse wurde die Methode von ANDERSON & DOMSCH (1978) verwendet. Hierzu wurden die Proben mit einer optimalen Glucosemenge versetzt, die eine unmittelbare CO₂-Produktion unter standardisierten Bedingungen ergab. Nach dem Schneiden des Bodenmaterials (soweit für L- und F-Schicht-Material erforderlich) wurde der Feuchtegehalt der L-Schicht auf 150 % und der Feuchtegehalt der F- und H-Schicht auf 200 %, bezogen auf die Trockensubstanz, eingestellt. Als optimale Glucosezusätze erwiesen sich für die L-Schicht 90 mg/g TS, für die F-Schicht 75 mg/g TS und für die H-Schicht 60 mg/g TS. Durch eine automatische Steuervorrichtung konnten 16 vorbereitete Proben und eine Leerkontrolle wiederholt nacheinander in einem Turnus von ca. 1,5 h gemessen werden. Nach der von ANDERSON & DOMSCH (1978) angegebenen empirischen Beziehung: 1 ml CO₂ x h⁻¹ (22 °C) = 40 mg Bio-C (mikrobiell gebundener Kohlenstoff) wurde aus der bei konstantem Luftstrom ge-

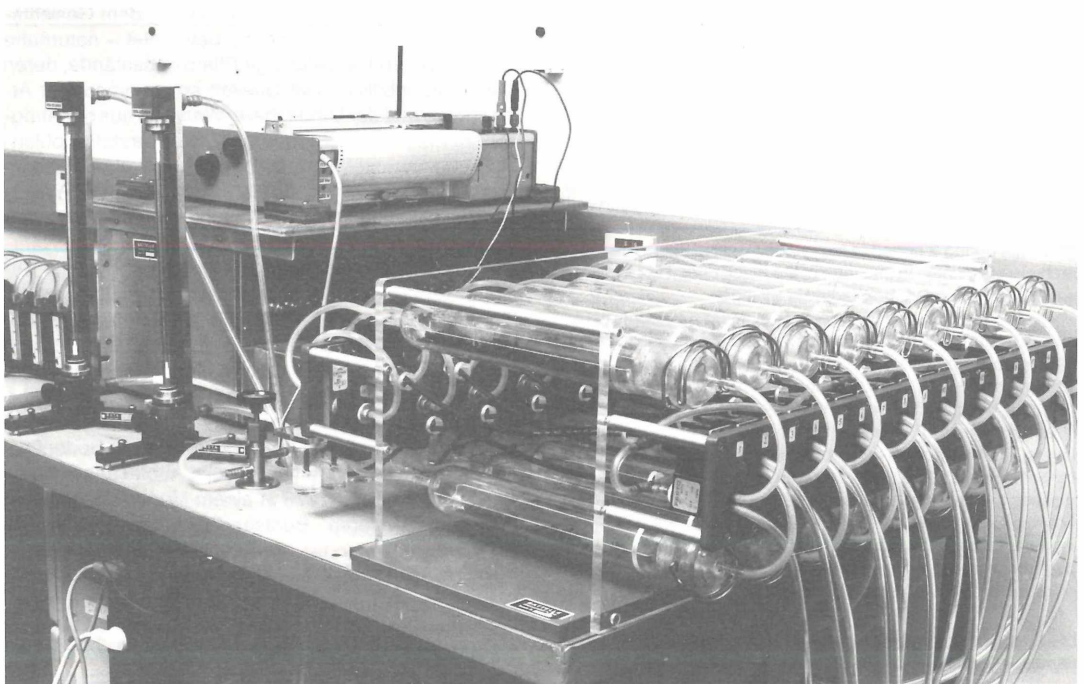


Abbildung 1. Bodenatmungs-Meßgerät mit Glasröhren zur Probenaufnahme, Rotametern zur Messung des Luftdurchsatzes, URS 2 T zur CO₂-Messung, Steuerschrank und Schreiber.

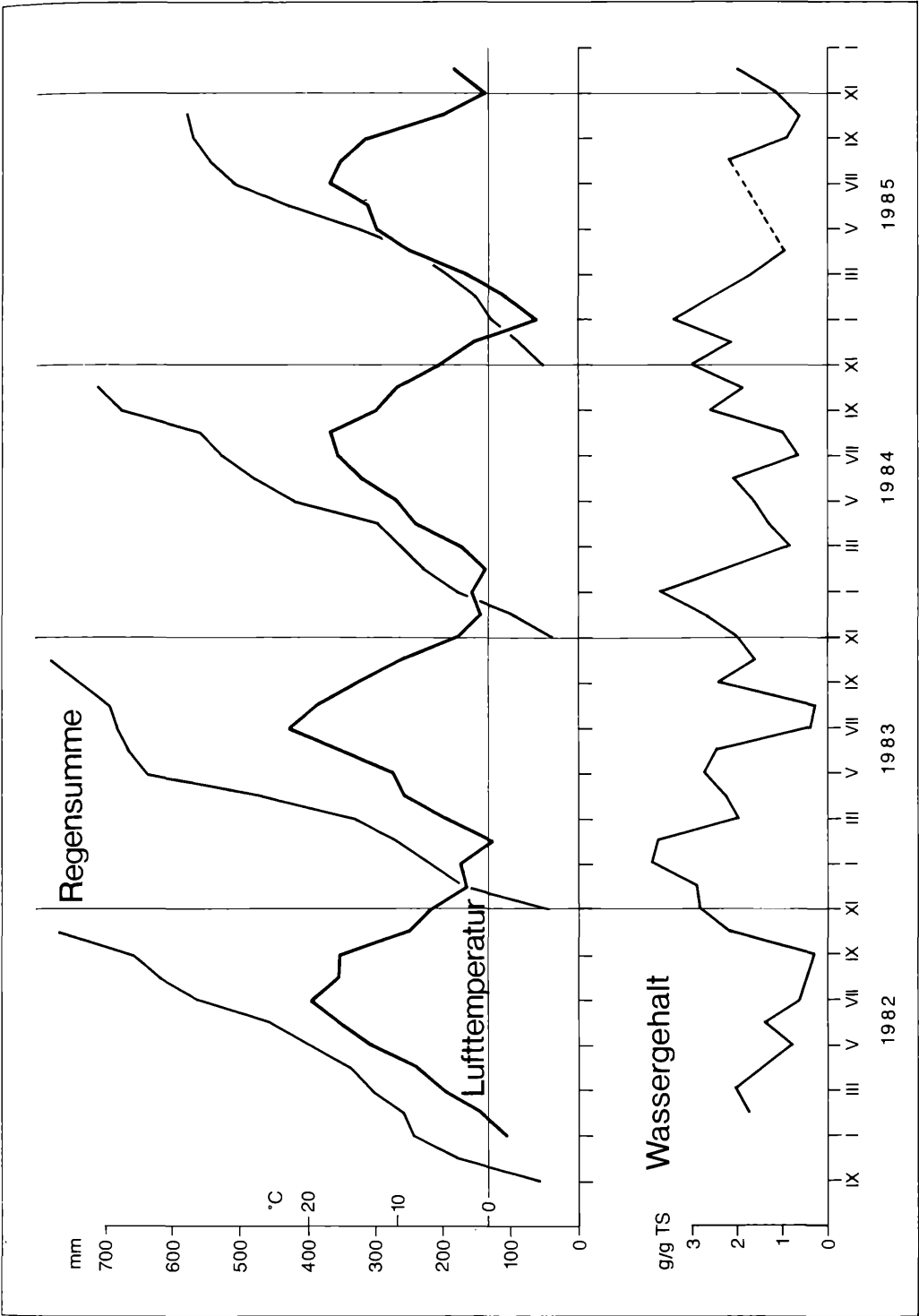


Abbildung 2. Regensumme des Bestandesniederschlags (Kronentrauf) für die Perioden November bis Oktober in mm, Lufttemperatur im Bestand 0,5 m über dem Boden in °C und mittlerer Wassergehalt der Streuproben bei Entnahme in g Wasser je g Wasser je g Trockensubstanz, auf der Versuchsfläche im Stadtwald Ettlingen.

messenen CO₂-Produktion (Uras 2 T) der mikrobielle Biomasse-C errechnet.

Das Verfahren der selektiven Hemmung (ANDERSON & DOMSCH 1973) wurde zur Differenzierung der mikrobiellen Biomasse in Pilze und Bakterien herangezogen (Abb. 1).

Außer der Biomasse wurde auch die Basalrespiration der Streu bestimmt, d. i. die CO₂-Produktion bei 22 °C ohne Glucosezusatz, 24 Stunden nach Versuchsbeginn, in der Phase stabiler Respirationsrate (PARKINSON et al. 1978).

Für die Hilfe bei den Freilandarbeiten danken wir den Mitarbeitern der Zoologischen Abteilung der Landessammlungen für Naturkunde Karlsruhe sehr herzlich; ihnen und insbesondere Herrn Professor Dr. L. BECK danken wir außerdem für die Überlassung von Streu- und Klimadaten und die wertvollen Diskussionen.

3. Ergebnisse

3.1 Klimadaten

Die mikrobielle Aktivität in der Bodenstreu ist in vielfältiger Weise von Klima und Witterungsverlauf abhängig. Daher werden hier einige der wichtigsten Klimadaten zusammengestellt, die im Rahmen des Forschungsprogramms von den Landessammlungen für Naturkunde Karlsruhe gemessen wurden (Tab. 1, Abb. 2).

Der Anstieg der jährlichen Regensumme ist 1982/83 in den Frühjahrsmonaten bis Ende Mai deutlich kräftiger als 1981/82 und in den folgenden Jahren. Dazu kommen die mittleren Monatstemperaturen bis zum Mai 1983 nicht über 10 °C hinaus, so daß die Bodenfeuchte bis zum Juni hoch bleibt, während der gleichmäßigere Temperaturanstieg 1982 zu einem schnelleren Austrocknen führt, wie der aktuelle Wassergehalt der Proben erkennen läßt. Die z. T. kräftigen Regengaben in der warmen Jahreszeit verdunsten offenbar schnell und schlagen sich nicht im Wassergehalt der Proben nieder, können aber, wie im September/Oktober 1982 für gute Voraussetzungen eines Besiedlungsschubes der Mikroflora sorgen, der mit einem milden Winter 1982/83 einsetzt. Auch die herbstliche Regenverteilung Ende 1983 sorgt für einen guten Start in den Zyklus 1983/84. Die drohende Austrocknung im Frühjahr wird hier gerade noch durch Regen im Mai und Juni bei insgesamt zurückhaltendem Temperaturgang vermieden. 1985 ist bis Mai erheblich weniger Regen gefallen als in den drei vorangegangenen Zyklen. Der Fehlbetrag gegenüber dem jährlichen Durchschnitt über einen Zeitraum von vier Jahren und dem ersten Jahreszyklus beträgt schließlich rund 90 mm, das sind knappe 15 %.

3.2 Die Mikroflora der organischen Auflage (Quadratproben)

Die Versuche zur Differenzierung der Biomasse in Pilze und Bakterien ergaben keine Hemmung durch Streptomycin, so daß davon ausgegangen werden muß, daß der Anteil der Bakterienflora zu klein war, um mit der Methode nachgewiesen werden zu können. Diese Fest-

stellung ergab sich für die gesamte Auflage, so daß der mikrobielle Abbau in der Streuschicht im wesentlichen auf Pilze zurückzuführen ist.

3.2.1 Konzentration der Biomasse

Die jährlich erneuerte L-Schicht läßt in den vier Untersuchungsjahren keinen Jahresgang der Konzentration der mikrobiellen Biomasse erkennen; hierzu fehlen insbesondere auch Daten aus den ersten Monaten der Jahre 1982 und 1984 (Abb. 3). Auffällig ist das Anwachsen der Biomasse aus dem Herbst 1982 heraus zu einem Maximum im Juni 1983 auf fast 7000 mg Biomasse-Kohlenstoff (Bio-C) je 100 g Streu. Dieser Anstieg läßt sich mit dem Witterungsverlauf (höhere Feuchtigkeit) erklären. Der Abfall zum August 1983 auf 2500 mg Bio-C/100 g ist auf Trockenheit zurückzuführen. Die niedrige Biomassekonzentration im Winter 1984/85 ist in Parallele zu den niedrigen Streuumsätzen in dieser Zeit als Folge von Winterkälte und knappen Niederschlägen zu sehen (Abb. 2). In den Mittelwerten für die Jahre 1982, 1983, 1984 und 1985 von 2900, 4360, 2450 und 2530 mg Bio-C/100 g fällt das Jahr 1983 deutlich heraus (Tab. 2).

Eine Untersuchung über Zusammenhänge der Biomassekonzentration mit Daten zu Feuchte und Temperatur

Tabelle 1. Mittelwerte von Temperatur, Niederschlag und Wassergehalt der Streuproben in den Jahreszyklen 1981/82 bis 1984/85 und Durchschnitt aller 4 Zyklen, gemessen jeweils von November bis Oktober.

	1981/82	1982/83	1983/84	1984/85	1981-85
Luft-Temperatur °C (50 cm über Boden)	8,7	9,7	7,9	8,0	8,6
Bestandes- Niederschlag mm (Kronentrauf)	656	734	676	569	659
Wassergehalt g/g (Ø aller Schichten)	1,59	2,12	1,78	1,61	1,78

Tabelle 2. Mikrobielle Biomasse in den Streuschichten als Konzentration und als flächenbezogene Menge.

	1982	1983	1984	1985	Ø 1982-85
Konzentration in mg Bio-C/100 g TS					
L-Schicht	2902	4363	2452	2531	3158
F-Schicht	1590	3716	1642	1680	2231
H-Schicht	605	1006	546	675	737
flächenbezogene Menge in g Bio-C/m ²					
L-Schicht	14,2	20,4	9,8	12,1	14,7
F-Schicht	27,5	64,3	28,4	29,0	38,6
H-Schicht	10,4	17,4	9,4	11,7	12,5
Streu gesamt	52,2	102,1	47,6	52,8	65,8

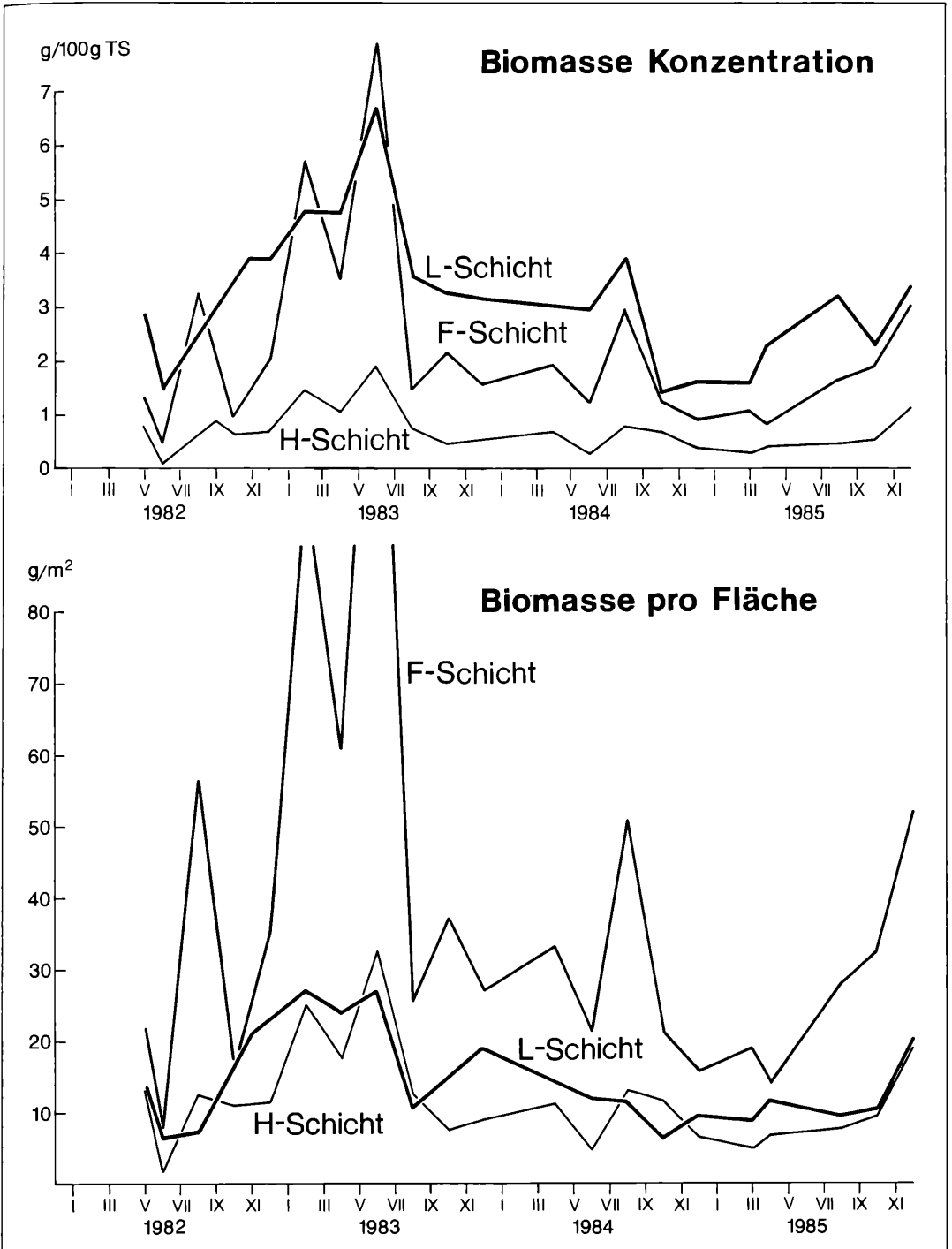


Abbildung 3. Konzentration (oben) und flächenbezogene Menge (unten) der mikrobiellen Biomasse in den drei Streuschichten der Versuchsfläche im Stadtwald Ettlingen.

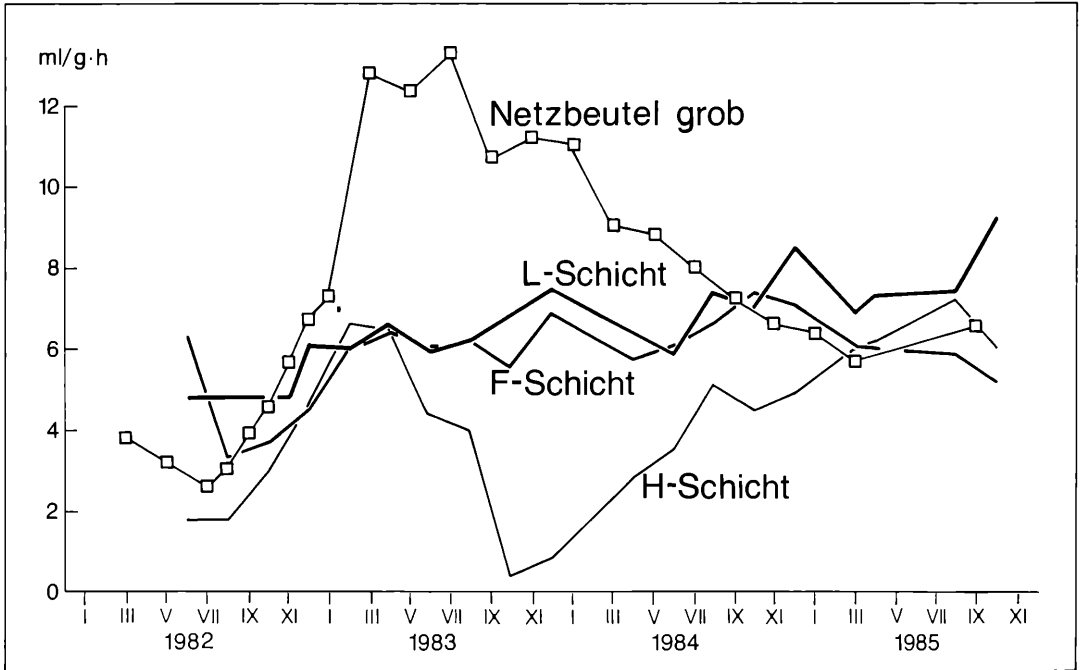


Abbildung 4. Atmungsintensität der mikrobiellen Biomasse bei 22 °C in den drei Streuschichten und in den grobmaschigen Netzbeuteln in der Versuchsfläche im Stadtwald Ettlingen, dargestellt als über 3 Werte gleitendes Mittel.

ergab keine Korrelation zum aktuellen Wassergehalt bei Probenahme, da dieser offenbar von dem Zufall des letzten Regenfalls abhängt. Eine schwache Korrelation (Regressionskoeffizient $R = 0,625$) ergab sich jedoch mit den Niederschlägen der letzten zwei Wochen vor Probenahme. Wurde dagegen nur der Niederschlag der letzten Woche eingesetzt, so war kein Zusammenhang mehr ersichtlich ($R = 0,355$). Die Temperatur der Streu in 2 cm Tiefe, d. h. an der Grenze zwischen L- und F-Schicht, zeigte dagegen keine Korrelation mit der Bio-

massekonzentration. Es hat eher den Anschein, daß Temperaturerhöhungen zu schnellerem Austrocknen führen und damit eine zu erwartende positive Wirkung kompensieren.

Die Bio-C-Konzentrationen in der F-Schicht sind im Mittel niedriger als in der L-Schicht, doch verläuft ihr Jahresgang dynamischer in einem zwei- bis mehrgipfiligen Verlauf mit Maxima im Frühjahr und Sommer bis Spätsommer (Abb. 3); diese Maxima sind möglicherweise mit einem Übergang von L- in F-Schicht-Material zu erklären. Auch die F-Schicht weist mit 3710 mg Bio-C/100 g im Mittel des Jahres 1983 deutlich höhere Werte auf als in den Jahren 1982, 1984 und 1985 (1590, 1640 und 1680 Bio-C/100 g Streu), was sicher mit dem günstigeren Feuchtigkeitsverlauf des ersten Halbjahres 1983 zusammenhängt (Tab. 2).

Die starke Mikroorganismenentwicklung des Jahres 1983 findet sich auch in der H-Schicht wieder mit 1000 mg Bio-C/100 g gegenüber 600, 550 und 740 mg/100 g in den Jahren 1982, 1984 und 1985 (Abb. 3, Tab. 2). Die Konzentration an Bio-C ist aber deutlich niedriger als in der L- und auch in der F-Schicht, was einerseits mit dem hohen Mineralanteil und andererseits mit der weitgehenden Humusbildung erklärt werden kann.

Tabelle 3. Spezifische Atmung der Biomasse und Basalatumung der Mikroorganismen der Bodenstreu, gemessen jeweils bei 22 °C.

	1982	1983	1984	1985	Ø1982-85
spezifische Atmung in ml CO ₂ /g Bio-C · h					
L-Schicht	4,9	6,4	6,8	8,7	6,7
F-Schicht	5,3	6,0	6,9	5,6	6,0
H-Schicht	2,4	3,5	4,4	6,3	4,2
Basalatumung in ml CO ₂ /m ² · h					
L-Schicht	85,8	141,2	62,0	109,0	99,5
F-Schicht	143,6	402,2	196,2	156,7	224,7
H-Schicht	25,3	83,9	38,4	63,3	52,5
Streu gesamt	254,7	627,3	296,6	328,0	376,7

3.2.2 Flächenbezogene Biomasse

Den Umrechnungen der Biomasse-Konzentrationen auf Mengen/m² wurden die von BECK & MITTMANN für die

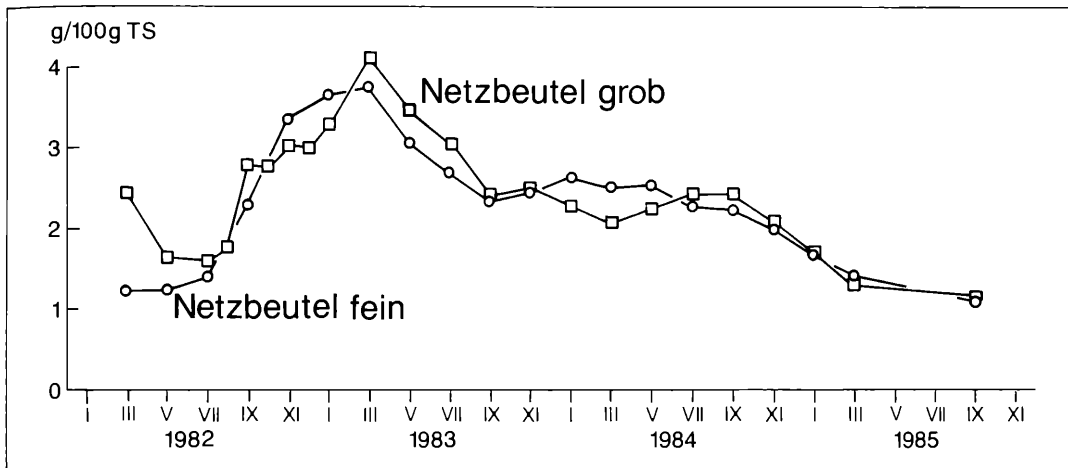


Abbildung 5. Konzentration der mikrobiellen Biomasse der Laubstreu in den grob- und feinmaschigen Netzbeuteln in der Versuchsfäche im Stadtwald Ettlingen.

Jahre 1977–1979 angegebenen Streumengen/m² zugrunde gelegt (vgl. Tab. 5).

Bezieht man die Biomasse auf die jeweilige Streumenge/m² (Tab. 2), so fallen für alle drei Schichten, insbesondere aber für die F-Schicht, die hohen Werte des Jahres 1983 auf, die im Vergleich zum vorangegangenen und den folgenden Jahren um etwa den Faktor 2 höher liegen. Der Biomassegehalt der H-Schicht entspricht etwa dem der L-Schicht. Die meiste Biomasse findet sich jedoch in der F-Schicht.

Der Jahresverlauf der flächenbezogenen Biomasse in der L-Schicht läßt erkennen, daß die frische Laubstreu unter den Bedingungen der im Herbst bzw. Winter ansteigenden Feuchtigkeit rasch durch Mikroorganismen – bis zu 26 g Bio-C/m² – besiedelt wird (Abb. 3). Die höchsten Biomassemengen in der F-Schicht erreichten im Juni 1983 137 g/m²; das entspricht fast 20 % der durchschnittlichen Kohlenstoffmenge in dieser Schicht (vgl. Tab. 5). Der mikrobiell gebundene Kohlenstoff liegt jedoch allgemein deutlich unter diesem Höchstwert und beträgt, in % der Kohlenstoffmenge der entsprechenden Schicht, im Mittel der 4 Jahre in der

L-Schicht 5,9 %

F-Schicht 5,5 %

H-Schicht 3,6 %.

3.2.3 Respiration

Die Atmungsintensität der Biomasse bei 22 °C beträgt in der L- und in der F-Schicht je etwa 6 ml CO₂/g Bio-C h. Besonders gut stimmen die vier Jahresmittelwerte der F-Schicht überein (Tab. 3). Dies spricht für eine Pilzflora mit gleichbleibendem physiologischem Status. Die spezifische Atmung in der H-Schicht ist mit ca. 4,2 ml/g Bio-C h geringer, was für einen niedrigeren Aktivitätsstatus spricht. Die physiologische Aktivität in der L-Schicht

dürfte besonders von den jeweiligen äußeren Bedingungen beeinflusst werden.

Im Jahresgang, als gleitendes Mittel dargestellt (Abb. 4), läßt sich die weitgehend übereinstimmende Biomasseatmung von F- und L-Schicht ebenfalls erkennen; lediglich im Jahre 1982 zeigt die Biomasse der F-Schicht größere Schwankungen der Atmungsaktivität. Einen langfristigen Gang der Atmung mit Minima im Sommer 1982 und im Winter 1983 sowie Maxima im Februar/April 1983 und im Sommer 1985 zeigt die Pilzflora der H-Schicht. Dieser Gang deutet möglicherweise auf Änderungen der Ernährungssituation, d. h. der zur Verfügung stehenden Nährstoffe, hin.

3.3 Die Mikroflora der Netzbeutel

Die Laubstreu in den Netzbeuteln ist gegen eine Vermischung mit vorausgegangenen oder nachfolgenden Laubjahrgängen weitgehend geschützt. Die Proben bis X/XI 1982 bestanden daher aus frischem L-Schicht-Material, das dann durch die nachfolgende Laubstreu abgedeckt wurde. Ab V/VI 1983 ist die Streu der Netzbeutel als F-Schicht-Material zu betrachten. Dabei ist die Streu der grobmaschigen Beutel besser als die der feinmaschigen Beutel mit der L- bzw. der F-Schicht der Quadratproben zu vergleichen, weil die groben Maschen keine Sperre für die Bodenfauna darstellen.

Die Konzentration der mikrobiellen Biomasse in den grobmaschigen Netzbeuteln erreichte im Jahre 1982 ca. 83 %, im Jahre 1983 ca. 75 % der Biomassekonzentration der L-Schicht aus den Quadratproben (Tab. 4 und 2). Im Vergleich zur F-Schicht betragen die Konzentrationen 1983, 1984 und 1985 88 %, 138 % und 79 %. Das Jahr 1984 bildet somit möglicherweise eine Kompensation für eine in den ersten zwei Jahren verzögerte Biomassebildung.

In den feinmaschigen Netzbeuteln war die mikrobielle Biomasse zu Beginn des Versuches im Jahre 1982 um etwa $\frac{1}{4}$ niedriger als in den grobmaschigen Netzbeuteln; möglicherweise ist dafür ein gewisser Raumwiderstand verantwortlich zu machen, den die Maschenweite von 21 μm der Erstbesiedlung durch die ganz überwiegend aus Pilzen bestehende Mikroflora entgegensetzen könnte. Der Rückstand an mikrobieller Biomasse verringert sich im zweiten Jahr und wird im dritten und vierten Jahr ausgeglichen (Tab. 4). Von den Abweichungen zu Beginn des Abbaus abgesehen, besteht zwischen den beiden Maschenweiten kein großer Unterschied in der Besiedlung durch die Mikroflora (Abb. 5).

Tabelle 4. Mikrobielle Biomasse und spezifische Atmung der Biomasse der Laubstreu in fein- und grobmaschigen Netzbeuteln.

Maschenweite	1982	1983	1984	1985
Biomasse in mg Bio-C/100 g TS				
0,021 mm	1777	3051	2366	1327
10,0 mm	2420	3268	2258	1323
spezifische Atmung in ml $\text{CO}_2/\text{g Bio-C} \cdot \text{h}$				
0,021 mm	4,0	11,3	9,0	7,6
10,0 mm	4,2	11,8	8,2	6,2

Die spezifische Atmung der Biomasse zeigt in den Netzbeuteln beider Maschenweiten einen übereinstimmenden Gang über die Untersuchungsjahre. Im ersten Jahr ist sie etwa so gering wie in der L-Schicht der Quadratproben 1982 (Tab. 4 und 3). Im zweiten Jahr beträgt sie fast das Doppelte der Quadratproben (L- und F-Schicht) und sinkt über das Jahr 1984 schließlich im Jahre 1985 wieder auf das Niveau der Quadratproben herab. Das gleitende Mittel läßt den Unterschied zur spezifischen Biomasseatmung der L- und F-Schicht deutlich erkennen (Abb. 4).

4. Diskussion

Die starken Änderungen in den Meßwerten im Untersuchungsverlauf spiegeln die natürlichen Schwankungen wider. Anhand von Bakterienzahlen in Kiefernwaldböden zeigen LUNDGREN & SÖDERSTRÖM (1983), daß die Keimzahlen nicht mit der Konzentration organischer Substanz oder der Temperatur korreliert waren, sondern mit der Feuchte des Bodens und der Zahl bakterienfressender Nematoden bzw. mit der Regensumme der letzten sieben Tage vor der Keimzählung. Die Autoren weisen in diesem Zusammenhang besonders darauf hin, wie rasch – insbesondere im Sommer – Bodenfeuchte und Keimzahlen abnehmen.

Der Streuabbau in Eukalyptuswäldern war zu 63–83 % mit der Zahl der Tage im Jahr korreliert, die eine Min-

destfeuchtigkeit der Streu von 60 % aufwiesen; wurden diese Tage noch mit der jeweiligen Tagestemperatur multipliziert, so konnten 80–90 % der Abbauschwankungen damit erklärt werden (WOODS & RAISON 1983). Klimatisch bedingte kurzfristige Veränderungen der Biomasse beobachteten auch PARKINSON et al. (1978). Nach BOTTNER (1985) wird ein Drittel bis ein Viertel der Mikroflora beim Austrocknen vernichtet, es handelt sich dabei um den aktiven Anteil der Mikroorganismen. Nach Wiederbefeuchten wächst jedoch aus den ruhenden und geschützten Formen in Kürze wieder eine Mikroflora annähernd gleicher Konzentration heran. Wenn auch bei Bakterien und Pilzen im Freiland Generationszeiten von wenigen Stunden oder Tagen selten sein dürften, so lassen sich mit diesen schnellen Vermehrungsraten doch gerade feuchtigkeitsbedingte Schwankungen der Biomasse verstehen. Solche Unregelmäßigkeiten können saisonale Veränderungen bei seltenen Probenahmen verdecken (LUNDGREN & SÖDERSTRÖM 1983).

Die relativ langsam wachsenden Pilze, die in unserem Buchenwald bestimmend sind, korrelierten in ihrer Biomassekonzentration mit einer vierzehntägigen Regenspende, während die Temperatur keinen Einfluß erkennen ließ. Diese verstärkte eher die durch die Hanglage bereits begünstigte, aber negativ wirkende Austrocknung. Da Pilzstränge den Waldboden über viele Meter durchziehen können (THOMPSON 1984), besteht sicher eine gewisse Unabhängigkeit von den lokalen Versorgungsbedingungen. Pilzstränge durchziehen auch unseren Waldboden; bei der Entnahme der Beutelproben fiel insbesondere auf, daß Mycelien aus dem Untergrund durch die Maschen eingewachsen waren.

Die Feinstreuproduktion betrug im Mittel der Jahre 1977–1979 505 g TS/m^2 (BECK & MITTMANN 1982), was 258,6 g C/m^2 entspricht (Tab. 5). Rechnet man einen Anteil von einem Drittel Wurzelstreu an der Gesamtstreu hinzu, so ergibt das eine jährliche Streumenge, die etwa 390 g C/m^2 entspricht (RUNGE 1973). Hiervon gelten rund 10 bis 20 % als mit Wasser leicht eluierbar, aber auch als schnell abbaubar, so daß diese Anteile nur in geringerem Maße versickern werden (WOODS & RAISON 1983, BERG & WESSEN 1984). Diese Werte korrespondieren mit dem Abbau von etwa 25 % der Laubstreu im ersten Jahre des Ettlinger Stadtwaldes (BECK & DUMPERT 1985).

Die Bestimmung der pilzlichen Biomasse in der Aufлагeschicht ergab in Taiga-Laubwäldern 2–9 g m^2 bzw. 0,1 % der organischen Substanz (FLANAGAN & VAN CLEVE 1983), 0,6–1,4 % der Birkenlaubstreu eines Kiefern-Birkenwaldes (BERG & WESSEN 1984) und in einem Fichtenwald 1,8, 4,6 und 2,4 g m^2 (L-, F- und H-Schicht) bzw. 1,1, 0,6 und 0,3 % des Kohlenstoffs (PARKINSON et al. 1978). Damit verglichen sind die in der vorliegenden Arbeit ermittelten Werte von 14,7, 38,6 und 12,5 g m^2 (L-, F- und H-Schicht) bzw. 5,9, 5,5 und 3,6 % des Streukohlenstoffs (Tab. 2) wesentlich höher.

Die Laubstreu bringt nach BERG & WESSEN (1984) 0,5 mg Pilzmycel pro g in die L-Schicht ein. Dort erfolgt zu-

Tabelle 5. Energie- und Elementmengen der Feinstreuproduktion und der Bodenauflage (Mittel der Jahre 1977–79 nach BECK & MITTMANN 1982).

	g TS · m ⁻²	Kcal · m ⁻²	Asche g · m ⁻²	g C · m ⁻²	g N · m ⁻²	g P · m ⁻²	C:N:P
Feinstreuproduktion	505	2448	13,7	258,6	3,91	0,30	862:13:1
L-Schicht	503	2323	32,0	248,7	6,43	0,56	444:11:1
F-Schicht	1762	6883	417,4	701,4	26,10	1,85	379:14:1
H-Schicht	1864	3415	1245,5	342,8	13,24	1,77	194: 7:1
Bodenauflage gesamt	4129	12621	1694,9	1292,9	45,77	4,18	309:11:1

nächst eine von der Feuchtigkeit abhängige dichtere Besiedlung durch diese Phylloflora, die nach und nach von aus tieferen Schichten einwachsenden Pilzhyphen verdrängt wird. Feuchtigkeit mobilisiert die leicht abbaubaren wasserlöslichen Stoffe und stellt sie den einwachsenden Hyphen zur Verfügung, die ein Feuchte- und Energiedepot aus tieferen Schichten, möglicherweise sogar aus der Mykorrhizazone der Wurzeln, nutzen. Die Menge lebenden Pilzmycels ist jedoch nicht konstant, sondern dynamisch: Absterben bei Trockenheit und kräftiger Zuwachs bei entsprechender Witterung lösen sich ab.

Bereits in der L-Schicht findet eine starke Reduktion des C-Gehaltes statt, die sich in der F-Schicht fortsetzt, wie aus dem C:N:P-Verhältnis deutlich wird (Tab. 5). Ein großer Sprung erfolgt noch einmal beim Übergang in die H-Schicht. Erstaunlicherweise ist in der H-Schicht das Stickstoff-Phosphor-Verhältnis auf die Hälfte reduziert, während das C:N-Verhältnis annähernd gleichbleibt. Somit ist in der H-Schicht eine Verminderung des Stickstoffs offensichtlich, die wahrscheinlich auf die Aufnahme durch die Feinwurzeln der Bäume, und das wohl nicht ohne Hilfe durch Mykorrhizapilze, zurückzuführen ist.

Die stark in Zersetzung begriffene L-Schicht wird zur F-Schicht, und damit geht auch die Pilzflora in diese Schicht über. Sie erreicht in der F-Schicht nicht die Konzentration der L-Schicht, doch sammelt sich in der F-Schicht absolut die größte Pilzbiomasse an, die dann in der H-Schicht deutlich abnimmt.

Nach BABEL & CHRISTMANN (1983) sind in Buchenaltbeständen in der unteren F-Schicht bereits deutlich Feinwurzeln mit einem Durchmesser von 80–1000 µm zu erkennen, die in der H-Schicht kräftig ausgebildet sind und in ihrem Bodenprofil in der obersten 15-mm-Schicht eine Länge von 103,6 cm/cm³ bzw. ein Volumen von 2,66 % des Gesamtbodens einnehmen. Auch in dem von uns untersuchten Buchenwald ist ein beträchtlicher Wurzelanteil in der Streuschicht erkennbar. Nach BABEL & CHRISTMANN (1983) sterben in häufig austrocknenden oberflächennahen Bodenbereichen sehr viele Feinwurzeln bei Trockenheit ab und werden nach Niederschlägen neu gebildet. Die abgestorbenen Wurzeln sind somit ein wichtiger Teil der Streuproduktion, der zur Erklärung unserer hohen Biomassewerte beitragen kann. Le-

bende Feinwurzeln haben eine intensive Atmung, die beträchtlich in die gesamte Kohlendioxidproduktion eingehen kann (HENDRIKSON & ROBINSON 1984).

In den Netzbeuteln ist die Biomassebildung gegenüber der Freifläche während der ersten zwei Jahre vermindert. Im dritten Jahr, wenn die Netzbeutel bereits inmitten der F-Schicht lagern, ist ihr Biomassegehalt größer als in der Freifläche, sinkt im vierten Jahr aber wieder unter das Niveau in der Freifläche.

Die Atmung, die bei voller Aktivität der Mikroflora 25 ml CO₂/g Bio-C h (22 °C) beträgt (ANDERSON & DOMSCH 1978) erreicht in unseren Freiflächenproben im Durchschnitt etwa 25 % dieses Wertes (6,0 bis 6,7 ml/g h) und in den Beutelproben des zweiten und dritten Jahres 46 und 35 %. Eine Versorgung der Mikroflora mit einer Nährstoffmenge, die gerade eine Atmung von 25 ml/g · h aber noch keine Vermehrung zuläßt, deckt den Erhaltungsstoffwechsel der Organismen. Er beträgt, in Kohlenstoff ausgedrückt, etwa 0,012 bis 0,03 mg Glucose-C/mg Biomasse-C h (ANDERSON & DOMSCH 1985a). Ein Teil der Mikroflora liegt jedoch in Ruhestadien vor. Um die Biomasse-Konzentration auf gleichem Niveau zu erhalten, genügt ein wesentlich kleinerer Erhaltungsstoffwechsel von 0,000016 bis 0,000043 mg Glucose-C/mg Biomasse-C h (15 °C) (ANDERSON & DOMSCH 1985b). Aufgrund der gemessenen Atmungswerte kann sich nur ein geringer Teil der mikrobiologischen Biomasse in aktivem Wachstumszustand befunden haben. Das Nahrungsangebot dürfte für den größten Teil der Biomasse lediglich für den Erhaltungsstoffwechsel bzw. für Ruheformen ausreichen. Die Dynamik des Streubaus, die der besprochenen Biomassebildung gegenübersteht, wird in einer weiteren Veröffentlichung behandelt.

5. Literatur

- ANDERSON, J. P. E. & DOMSCH, K. H. (1973): Quantification of bacterial and fungal contributions to soil respiration. – Arch. Microbiol., **93**: 113–127; Heidelberg.
- ANDERSON, J. P. E. & DOMSCH, K. H. (1975): Measurements of bacterial and fungal contributions to respiration of selected agricultural and forest soils. – Can. J. Microbiol., **21**: 314–322; Ottawa.

- ANDERSON, J. P. E. & DOMSCH, K. H. (1978): A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. – *Soil Biol. Biochem.*, **10**: 215–221; London.
- ANDERSON, T.-H. & DOMSCH, K. H. (1985a): Maintenance carbon requirements of actively metabolizing microbial populations under in situ conditions. – *Soil Biol. Biochem.*, **17**: 197–203; London.
- ANDERSON, T.-H. & DOMSCH, K. H. (1985b): Determination of ecophysiological maintenance carbon requirements of soil microorganisms in a dormant state. – *Biol. Fert. Soils*, **1**: 81–89; Heidelberg.
- BABEL, U. & CHRISTMANN, A. (1983): Vergleichende mikromorphometrische Untersuchungen der Humusprofile in zwei Buchenbeständen. – *Geoderma*, **31**: 239–264; Amsterdam.
- BECK, L. (1978): Zur Biologie eines Buchenwaldbodens. 1. Einleitender Überblick und Forschungsprogramm. – *Beitr. naturkd. Forsch. SüdwDtl.*, **37**: 93–101; Karlsruhe.
- BECK, L. (1983): Zur Bodenbiologie des Laubwaldes. – *Verh. Dtsch. Zool. Ges.* 1983: 37–54; Stuttgart.
- BECK, L. (1984): Bodentiere im Laub des Buchenwaldes. Entscheidende Rolle im Naturhaushalt. – *Forsch. Mitt. DFG.*, **2/84**: 15–18; Bonn.
- BECK, L. & DUMPERT, K. (1985): Vergleichende ökologische Untersuchungen in einem Buchenwald nach Einwirkung von Umweltchemikalien. In B. SCHEELE, F. FÜHR & E. STÜTTGEN (Hrsg.): Auffinden von Indikatoren zur prospektiven Bewertung der Belastbarkeit von Ökosystemen, Bd. 7, Jül. Spez., **296**: 12–30; Jülich.
- BECK, L. & MITTMANN, H. W. (1982): Zur Biologie eines Buchenwaldbodens. 2. Klima, Streuproduktion und Bodenstreu. *Carolinea*, **40**: 65–90; Karlsruhe.
- BERG, B. & WESSEN, B. (1984): Changes in organic-chemical components and ingrowth of fungal mycelium in decomposing birch leaf litter as compared to pine needles. – *Pedobiologia*, **26**: 285–298; Jena.
- BOTTNER, P. (1985): Response of microbial biomass to alternate moist and dry conditions in a soil incubated with 14-C- and 15-N-labelled plant material. – *Soil Biol. Biochem.*, **17**: 329–337; London.
- FLANAGAN, P. W. & VAN CLEVE, K. (1983): Nutrient cycling in relation to decomposition and organic matter quality in taiga ecosystems. – *Can. J. Forest Res.*, **13**: 795–817; Ottawa.
- HENDRIKSON, O. R. & ROBINSON, J. B. (1984): Effects of roots and litter on mineralization processes in forest soil. – *Plant & Soil*, **80**: 391–405; Den Haag.
- LUNDGREN, B. & SÖDERSTROM, B. (1983): Bacterial numbers in a pine forest soil in relation to environmental factors. – *Soil Biol. Biochem.*, **15**: 625–630; London.
- PARKINSON, D., DOMSCH, K. H. & ANDERSON, J. P. E. (1978): Die Entwicklung mikrobieller Biomassen im organischen Horizont eines Fichtenstandortes. – *Acta Oecol. Plant.*, **13**: 355–366; Montreux.
- RUNGE, M. (1973): Der biologische Energieumsatz in Landökosystemen unter Einfluß des Menschen. – In: ELLENBERG, H., (Hrsg.) *Ökosystemforschung*: 123–141; Heidelberg.
- THOMPSON, W. (1984): Distribution, development and functioning of mycelial cord systems of decomposer basidiomycetes of the deciduous woodland floor. In: D. H. JENNINGS & A. D. RAYNER (eds.), *Symposium of British Mycological Society. The Ecology & Physiology of the Fungal Mycelium*; Cambridge.
- WOODS, P. V. & RAISON, R. J. (1983): Decomposition of litter in subalpine forests of *Eucalyptus delegatensis*, *E. pauciflora* & *E. dives*. – *Austr. J. Ecol.*, **8**: 287–299; Carlton.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Carolinea - Beiträge zur naturkundlichen Forschung in Südwestdeutschland](#)

Jahr/Year: 1986

Band/Volume: [44](#)

Autor(en)/Author(s): Schönborn Wolfgang, Dumpert Klaus

Artikel/Article: [Zur Biologie eines Buchenwaldbodens 8. Die Mikroflora 129-138](#)