

Zur Biologie eines Buchenwaldbodens

1. Einleitender Überblick und Forschungsprogramm¹⁾

von LUDWIG BECK

Kurzfassung

Einleitend wird der Stand der Erforschung des Ökosystems mitteleuropäischer Wälder und dessen Gliederung dargestellt. Das Arbeitsthema schließt sich an die Untersuchungen eines Buchenwaldes im Solling im Rahmen des Internationalen Biologischen Programms an. Die Schilderung des Forschungsprogramms und des Arbeitsablaufs endet mit einer grundsätzlichen Diskussion der Möglichkeiten und Grenzen ökologischer Forschung an einem Naturkundemuseum.

Summary

Studies on the biology of a beech wood soil 1. Introductory survey and research project.

First the present state of research on the ecosystem of Central European woods and its zonation is presented. The project continues investigations of an beech wood in Solling, which represents a part of the International Biological Program. The description of the research project and its progress closes with a fundamental discussion of the possibilities and limitations of ecological research within a Natural History Museum.

1. Einleitung

Unter dem in Mitteleuropa herrschenden Klima ist die Buche (*Fagus sylvatica*) die weitest verbreitete und dominierende Baumart der potentiellen natürlichen Vegetation. Man findet daher in Mitteleuropa eine Fülle an standortbedingten Varianten von Wäldern, in denen die Buche das wesentliche Florelement darstellt, wenn auch die Laubwälder durch Kulturmaßnahmen zugunsten der Nadelhölzer, insbesondere der Fichte, zurückgedrängt wurden (LEIBUNDGUT 1970, WALTER 1973).

Die verschiedenen Waldgesellschaften sind seit langem Gegenstand von forstwirtschaftlichen Untersuchungen. Eine umfassende Analyse des Ökosystems von Wäldern, d. h. der Lebensgemeinschaften und ihrer anorganischen Umwelt, rückte erst Mitte der 60er Jahre in den Mittelpunkt wissenschaftlichen Interesses durch das Internationale Biologische Programm (IBP). Weltweit wurden zahlreiche terrestrische, limnische und marine Ökosysteme untersucht. In Deutschland konzentrierten sich die von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Untersuchungen auf 2 Waldtypen, Buchenwald und Fichtenwald in jeweils 2 verschiedenen Altersstufen im Solling, 500 m über dem Meer (ELLENBERG 1971). Im Mittelpunkt stand dabei ein Hainsimsen-Buchenwald (*Luzulo-Fagetum*) als ein vergleichsweise naturnaher und für Mitteleuropa charakteristischer Bestand (BENNERT 1973).

¹⁾ Mit Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft

In einem Wald als vollständigem Ökosystem lassen sich den abiotischen Faktoren als den Parametern des Biotops, drei Organismengruppen als Charakteristika der Biozönose gegenüberstellen: Primärproduzenten, Konsumenten und Destruenten. Sie stellen die drei wesentlichen Ernährungsstufen oder trophischen Niveaus der Lebensgemeinschaften dar. Umfang und Intensität der Untersuchungen im Rahmen des Solling-Projektes nahmen in der genannten Reihenfolge ab: Über die klimatischen und sonstigen physikalischen und chemischen Parameter liegen umfangreiche Messungen vor. Auch die Primärproduktion ist nach Masse, Stoff- und Energiegehalt und deren Umsätzen sehr gut untersucht. Die ersten umfassenden Ergebnisse sind in den von ELLENBERG herausgegebenen Bänden *Integrated Experimental Ecology* (1971) und *Ökosystemforschung* (1973) sowie in einer Fülle von Einzelarbeiten niedergelegt.

Die Konsumenten, die sich von lebender organischer Substanz ernähren, sind im wesentlichen Tiere; sie treten in weit größerer Artenvielfalt auf, als die pflanzlichen Primärproduzenten. So fand THIEDE (1977) in den beiden Untersuchungsflächen im Fichtenwald des Solling allein ca. 860 Arten pterygoter Insekten. Die Tiere als Konsumenten stehen außerdem nicht auf einer einheitlichen Ernährungsstufe wie die Primärproduzenten, sondern sind in vielgliedrigen Nahrungsketten oder besser Nahrungsnetzen miteinander verbunden und voneinander abhängig. Obwohl sich im Solling auch ein umfangreiches zoologisches Forschungsprogramm anschloß, aus dem bislang über 60 Einzelarbeiten hervorgingen (siehe FUNKE 1977), konnte dieses naturgemäß wesentlich weniger umfassend sein als bei den abiotischen Faktoren und der Primärproduktion.

Die Destruenten, die sich von toter organischer Substanz ernähren, lassen sich in zwei Großgruppen einteilen, die Mikroflora und die Bodenfauna. Auch sie stehen nicht auf einer einheitlichen Ernährungsstufe; vielmehr sind die trophischen Beziehungen noch weit komplexer als bei den Konsumenten. Wenn sich auch ein Teil des zoologischen Forschungsprogramms im Solling mit bodenlebenden Tieren befaßte, so ist doch unser Wissensstand im Bereich der Destruenten mit Abstand am geringsten, gemessen an der Vielfalt der Organismen und ihrer Leistungen.

Hier setzt unser Forschungsprogramm an, das einen Beitrag zur weiteren Klärung bodenbiologischer Prozesse und der Art und Leistung der an ihnen beteiligten Organismen erbringen soll.

2. Einordnung und Abgrenzung des Arbeitsthemas

Die Primärproduktion eines Ökosystems tritt zunächst als Brutto-Primärproduktion (BPP) auf; nach Abzug der Atmungsverluste (R) der Primärproduzenten, bleibt die Netto-Primärproduktion (NPP) übrig, die in Stoffkreisläufe und Energiefluß des Ökosystems eingeht. Die NPP stellt – bei Vernachlässigung eines Zuflusses von außerhalb des Ökosystems – die einzige Nahrungsquelle für Konsumenten und Destruenten dar. Man kann daher nach RUNGE (1973) die NPP folgendermaßen aufteilen:

$$NPP = dV_A + L_A + F_H$$

A = Primärproduzenten

H = Herbivore

dV_A = Zuwachs (Änderung des Stoff- und Energievorrats der Primärproduzenten)

L_A = Streu (Produktion an pflanzlichem Bestandesabfall als hauptsächliche Basis der Destruenten-Nahrungsketten)

F_H = Fraß (Verlust durch Fraß der Herbivoren als Basis der Konsumenten-Nahrungsketten)

Nach RUNGE (1973) beläuft sich die jährliche NPP in einem 120jährigen Buchenwald des Solling auf folgende Werte:

Zuwachs (dV_A) an Holz, Rinde, Grobwurzeln	4680 Kcal/m ² · y
Streu (L_A) aus Laub, Feinwurzeln, Ästen, Früchten	2890 “
Fraß (F_H) an Laub, Samen	180
	7750 Kcal/m ² · y

Unter Hinzurechnung der nicht vollständig erfaßten Produktion an Feinwurzeln und der nicht erfaßten Mortalität der Grobwurzeln, ergibt sich ein Schätzwert der jährlichen NPP von 8000 Kcal/m².

Sie teilt sich nach obigen Zahlen auf in

Zuwachs	58,5 %
Streu (mit Korrektur)	39,0 %
Fraß	2,5 %

Hierbei ist der Fraß an Wurzeln und Holz bzw. Rinde unberücksichtigt. FUNKE (1973) bestimmte die Fraßmenge der Herbivoren mit rund 5% der jährlich produzierten Laubmenge; nimmt man an, daß auch der Fraß an Wurzeln, Holz und Rinde in dieser Größenordnung liegt, so kommt man schließlich insgesamt auf eine maximale Fraßleistung der Konsumenten von etwa 5%.

Auf direktem Weg gelangen 39% der NPP zu den Destruenten; in einem naturnahen Wald ohne Holzentnahme fällt aber auch der Zuwachs – mit einem geschätzten Abzug von 5% für Fraß an der Lebenssubstanz – über kurz oder lang den Destruenten anheim, deren Anteil an der NPP somit bis auf über 90% steigen kann. Dieser Anteil dürfte tatsächlich im Klimaxstadium eines naturbelassenen Waldes den Destruenten zukommen.

Auch im Falle der Holznutzung wird keineswegs der gesamte Zuwachs dem Wald entnommen; Grobwurzeln einschließlich Stubben, Äste und Rinde verbleiben im Wald und werden von den Destruenten abgebaut, so daß ihnen auch im forstlich genutzten Wald ein Anteil von etwa 60% der NPP zukommen dürfte.

Diese Feststellungen gelten für den Energiefluß. Die Sonnenstrahlung dient dabei als Primärenergie, die durch die photoautotrophen Pflanzen in chemisch gebundene Energie umgesetzt wird. Der Wirkungsgrad dieser BPP liegt dabei zwischen 1% und 3%, je nach dem, ob man

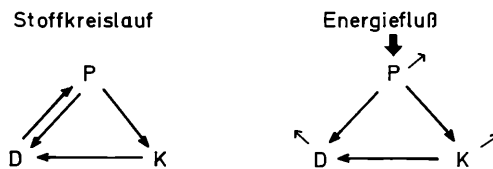


Abb. 1: Schematische Darstellung von Stoffkreislauf und Energiefluß in einem vollständigen Ökosystem. P = Primärproduzenten, K = Konsumenten, D = Destruenten. Stoff- und Energiefluß im Ökosystem unterscheiden sich wesentlich dadurch, daß Mineralstoffe nach vollständigem Abbau durch die Destruenten zu den Primärproduzenten rückgeführt werden. Dadurch wird der Stofffluß zum Kreislauf, der teilweise allerdings Hydro- und Atmosphäre mit einbeziehen muß, z. B. beim Wasser oder Kohlenstoff. Die Energie, von den Primärproduzenten in Form organischer Verbindungen bereitgestellt, wird dagegen vollständig in Wärme umgewandelt und aus dem Ökosystem entfernt.

In einem Wald als vollständigem Ökosystem lassen sich den abiotischen Faktoren als den Parametern des Biotops, drei Organismengruppen als Charakteristika der Biozönose gegenüberstellen: Primärproduzenten, Konsumenten und Destruenten. Sie stellen die drei wesentlichen Ernährungsstufen oder trophischen Niveaus der Lebensgemeinschaften dar. Umfang und Intensität der Untersuchungen im Rahmen des Solling-Projektes nahmen in der genannten Reihenfolge ab: Über die klimatischen und sonstigen physikalischen und chemischen Parameter liegen umfangreiche Messungen vor. Auch die Primärproduktion ist nach Masse, Stoff- und Energiegehalt und deren Umsätzen sehr gut untersucht. Die ersten umfassenden Ergebnisse sind in den von ELLENBERG herausgegebenen Bänden *Integrated Experimental Ecology* (1971) und *Ökosystemforschung* (1973) sowie in einer Fülle von Einzelarbeiten niedergelegt.

Die Konsumenten, die sich von lebender organischer Substanz ernähren, sind im wesentlichen Tiere; sie treten in weit größerer Artenvielfalt auf, als die pflanzlichen Primärproduzenten. So fand THIEDE (1977) in den beiden Untersuchungsflächen im Fichtenwald des Solling allein ca. 860 Arten pterygoter Insekten. Die Tiere als Konsumenten stehen außerdem nicht auf einer einheitlichen Ernährungsstufe wie die Primärproduzenten, sondern sind in vielgliedrigen Nahrungsketten oder besser Nahrungsnetzen miteinander verbunden und voneinander abhängig. Obwohl sich im Solling auch ein umfangreiches zoologisches Forschungsprogramm anschloß, aus dem bislang über 60 Einzelarbeiten hervorgingen (siehe FUNKE 1977), konnte dieses naturgemäß wesentlich weniger umfassend sein als bei den abiotischen Faktoren und der Primärproduktion.

Die Destruenten, die sich von toter organischer Substanz ernähren, lassen sich in zwei Großgruppen einteilen, die Mikroflora und die Bodenfauna. Auch sie stehen nicht auf einer einheitlichen Ernährungsstufe; vielmehr sind die trophischen Beziehungen noch weit komplexer als bei den Konsumenten. Wenn sich auch ein Teil des zoologischen Forschungsprogramms im Solling mit bodenlebenden Tieren befaßte, so ist doch unser Wissensstand im Bereich der Destruenten mit Abstand am geringsten, gemessen an der Vielfalt der Organismen und ihrer Leistungen.

Hier setzt unser Forschungsprogramm an, das einen Beitrag zur weiteren Klärung bodenbiologischer Prozesse und der Art und Leistung der an ihnen beteiligten Organismen erbringen soll.

2. Einordnung und Abgrenzung des Arbeitsthemas

Die Primärproduktion eines Ökosystems tritt zunächst als Brutto-Primärproduktion (BPP) auf; nach Abzug der Atmungsverluste (R) der Primärproduzenten, bleibt die Netto-Primärproduktion (NPP) übrig, die in Stoffkreisläufe und Energiefluß des Ökosystems eingeht. Die NPP stellt – bei Vernachlässigung eines Zuflusses von außerhalb des Ökosystems – die einzige Nahrungsquelle für Konsumenten und Destruenten dar. Man kann daher nach RUNGE (1973) die NPP folgendermaßen aufteilen:

$$NPP = dV_A + L_A + F_H$$

A = Primärproduzenten

H = Herbivore

dV_A = Zuwachs (Änderung des Stoff- und Energievorrats der Primärproduzenten)

L_A = Streu (Produktion an pflanzlichem Bestandesabfall als hauptsächliche Basis der Destruenten-Nahrungsketten)

F_H = Fraß (Verlust durch Fraß der Herbivoren als Basis der Konsumenten-Nahrungsketten)

Nach RUNGE (1973) beläuft sich die jährliche NPP in einem 120jährigen Buchenwald des Solling auf folgende Werte:

Zuwachs (dV_A) an Holz, Rinde, Grobwurzeln	4680 Kcal/m ² · y
Streu (L_A) aus Laub, Feinwurzeln, Ästen, Früchten	2890 “
Fraß (F_H) an Laub, Samen	180
	7750 Kcal/m ² · y

Unter Hinzurechnung der nicht vollständig erfaßten Produktion an Feinwurzeln und der nicht erfaßten Mortalität der Grobwurzeln, ergibt sich ein Schätzwert der jährlichen NPP von 8000 Kcal/m².

Sie teilt sich nach obigen Zahlen auf in

Zuwachs	58,5%
Streu (mit Korrektur)	39,0%
Fraß	2,5%

Hierbei ist der Fraß an Wurzeln und Holz bzw. Rinde unberücksichtigt. FUNKE (1973) bestimmte die Fraßmenge der Herbivoren mit rund 5% der jährlich produzierten Laubmenge; nimmt man an, daß auch der Fraß an Wurzeln, Holz und Rinde in dieser Größenordnung liegt, so kommt man schließlich insgesamt auf eine maximale Fraßleistung der Konsumenten von etwa 5%.

Auf direktem Weg gelangen 39% der NPP zu den Destruenten; in einem naturnahen Wald ohne Holzentnahme fällt aber auch der Zuwachs – mit einem geschätzten Abzug von 5% für Fraß an der Lebenssubstanz – über kurz oder lang den Destruenten anheim, deren Anteil an der NPP somit bis auf über 90% steigen kann. Dieser Anteil dürfte tatsächlich im Klimaxstadium eines naturbelassenen Waldes den Destruenten zukommen.

Auch im Falle der Holznutzung wird keineswegs der gesamte Zuwachs dem Wald entnommen; Grobwurzeln einschließlich Stubben, Äste und Rinde verbleiben im Wald und werden von den Destruenten abgebaut, so daß ihnen auch im forstlich genutzten Wald ein Anteil von etwa 60% der NPP zukommen dürfte.

Diese Feststellungen gelten für den Energiefluß. Die Sonnenstrahlung dient dabei als Primärenergie, die durch die photoautotrophen Pflanzen in chemisch gebundene Energie umgesetzt wird. Der Wirkungsgrad dieser BPP liegt dabei zwischen 1% und 3%, je nach dem, ob man



Abb. 1: Schematische Darstellung von Stoffkreislauf und Energiefluß in einem vollständigen Ökosystem. P = Primärproduzenten, K = Konsumenten, D = Destruenten. Stoff- und Energiefluß im Ökosystem unterscheiden sich wesentlich dadurch, daß Mineralstoffe nach vollständigem Abbau durch die Destruenten zu den Primärproduzenten rückgeführt werden. Dadurch wird der Stofffluß zum Kreislauf, der teilweise allerdings Hydro- und Atmosphäre mit einbeziehen muß, z. B. beim Wasser oder Kohlenstoff. Die Energie, von den Primärproduzenten in Form organischer Verbindungen bereitgestellt, wird dagegen vollständig in Wärme umgewandelt und aus dem Ökosystem entfernt.

der Berechnung die Globalstrahlung während des ganzen Jahres oder während der Vegetationsperiode, oder die photosynthetisch aktive Strahlung zugrunde legt (RUNGE 1973). Die BPP wird von den Primärproduzenten selbst zu rund 60% wieder für den Betriebsstoffwechsel verbraucht. Die verbleibenden 40% stellen die NPP dar, die in Form chemisch gebundener Energie durch die Nahrungsketten der Konsumenten und Destruenten fließt. Sie wird auf allen trophischen Stufen oder von allen Gliedern dieser Ketten wiederum aufgeteilt auf den Baustoffwechsel und den Betriebsstoffwechsel, d. h. umgesetzt in Produktion körpereigener Substanz und Atmungsenergie. Auf allen Organismenebenen geht demnach ein erheblicher Teil der Energie als Wärme verloren, bis sie am Ende der Nahrungsketten vollständig aus dem Ökosystem wieder ausgetreten ist (Abb. 1).

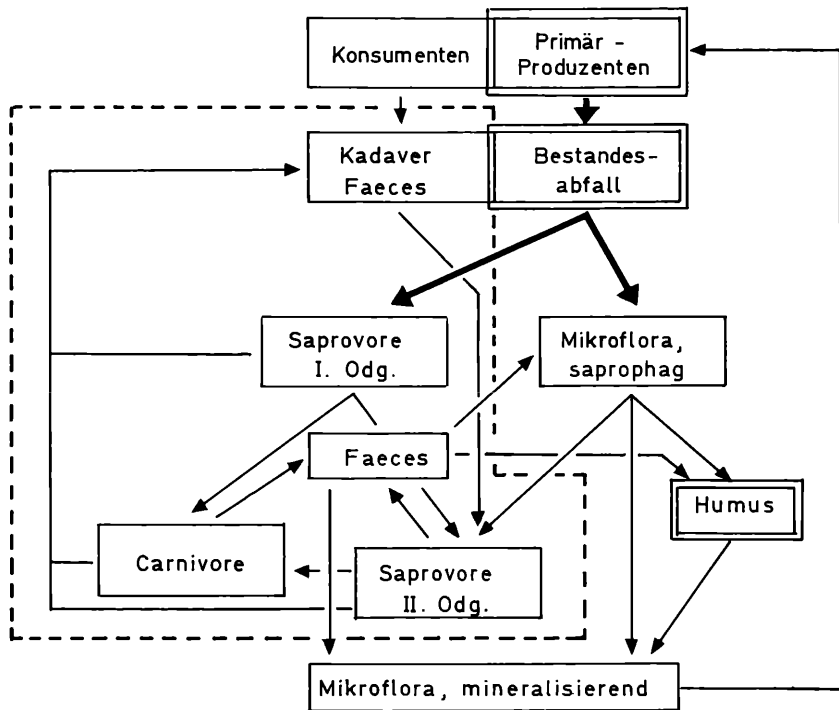


Abb. 2: Schematische Darstellung des Stoffflusses im Bereich der Destruenten im Ökosystem. Die umrandeten Kästchen stellen den Bestand an Biomasse der einzelnen Organismengruppen bzw. den Vorrat an toter organischer Substanz dar. Die Biomasse der Primärproduzenten sowie der Vorrat an toter organischer Substanz des Bestandesabfalls und des Humus überwiegen die übrigen Biomassebestände um mehrere Größenordnungen. Die Pfeile geben den Stofffluß zwischen den einzelnen Beständen an, wobei mengenmäßig der Fluß von den Primärproduzenten über den Bestandesabfall zu den saprovoren Organismen I. Ordnung der weitaus stärkste ist. Ohne den Pfeil, der die Rückführung der abgebauten Mineralstoffe zu den Primärproduzenten symbolisiert, stellt das Schma auch den Energiefluß im Teilökosystem Boden dar. Die gestrichelte Linie umgrenzt den Bereich der Bodentiere, die untereinander in einem eigenen Nahrungsnetz verbunden sind. Die wesentliche Stoff- und Energiezufuhr kommt vom pflanzlichen Bestandesabfall, teilweise erst nach Aufbereitung durch die saprophage Mikroflora; abgegeben wird die verbleibende organische Substanz an den Humus oder an die mineralisierende Mikroflora.

Der Stofffluß, der mit dem Energiefluß gekoppelt ist – es handelt sich ja um chemisch gebundene Energie – unterscheidet sich insofern von diesem, als die Mineralstoffe nicht aus dem Ökosystem austreten, sondern in Kreisläufen in ihm weitergegeben werden. Für Sauerstoff, Kohlenstoff und Wasserstoff ist der Luftraum in mengenmäßig bedeutender Weise in die Kreisläufe mit einbezogen, aber schon bei Stickstoff und Schwefel, die beide ebenfalls mehrere gasförmige Verbindungen haben, sind die internen Umsätze im Ökosystem wesentlich größer als der Austausch mit dem Luftraum; dies gilt vollends für alle übrigen Mineralstoffe, die keine gasförmige Phase haben.

Primärproduzenten, Konsumenten und Destruenten sind in beiden Schemata (Abb. 1) jeweils als nicht näher differenzierte Einheit dargestellt. Dies mag für die Primärproduzenten im Buchenwald angehen; aber schon für die Konsumenten ist mindestens die grundsätzliche Unterscheidung von Herbivoren und Carnivoren notwendig. Für das Verständnis der Wirkungsweise der Destruenten ist eine wesentlich weitergehende Aufgliederung erforderlich (Abb. 2).

Der Lebensraum der Destruenten ist der Boden. Der wichtigste bodenbiologische Prozeß ist der Abbau des pflanzlichen Bestandesabfalls. Die chemischen Vorgänge hierbei lassen sich vereinfacht in 2 Hauptschritte zusammenfassen: Das Aufbrechen der hochmolekularen Ausgangsverbindungen zu niedermolekularen organischen Bruchstücken und deren vollständiger Abbau zu anorganischen Ausgangsstoffen. Der erste Schritt ist Aufgabe der saprophagen Organismen, die mit Hilfe von Enzymen Kohlenhydrate, Fette und Eiweiße hydrolytisch spalten. Einen Teil der niedermolekularen Bruchstücke verwerten sie für ihren Bau- und Betriebsstoffwechsel. Der verbleibende Teil sowie die Ausscheidungsprodukte der Saprophagen werden von mineralisierenden Bakterien vollständig abgebaut, was in der Regel Verbrennung oder Oxidation bedeutet (Abb. 3).

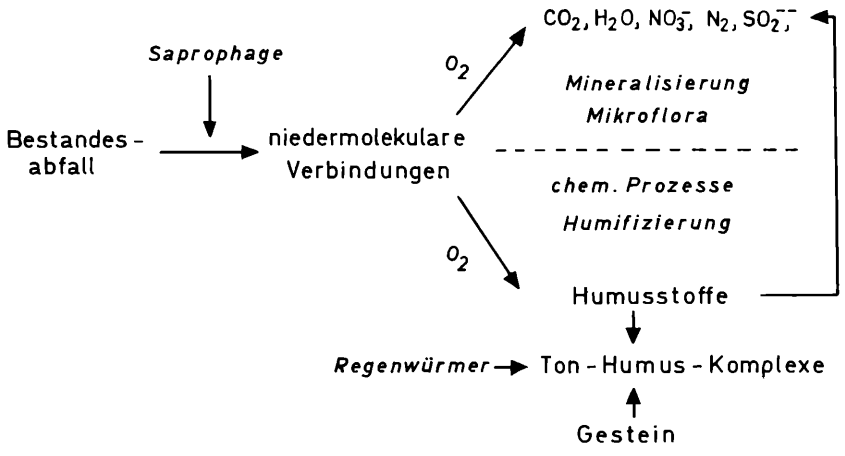


Abb. 3: Schematische Darstellung der wichtigsten Schritte beim Abbau pflanzlichen Bestandesabfalls und der Rolle der Bodenorganismen bei diesem bodenbiologischen Prozeß.

Der Weg der Humifizierung stellt gleichsam eine Verzögerungsschleife dar, in der Energie und Stoffe in Form hochmolekularer Verbindungen vorübergehend festgelegt werden. Wahrscheinlich ist auch die Rolle der verschiedenen Organismengruppen der Destruenten-Nahrungsketten als die von Verzögerungsschleifen mit ausgleichender und stabilisierender Wirkung auf den Stoff- und Energiefluß zu verstehen (Abb. 2).

3. Forschungsprogramm

Der Anteil der Bodentiere an Stoff- und Energieumsätzen im Boden konzentriert sich mengenmäßig zunächst ganz überwiegend auf die Saprophyten I. Ordnung (Abb. 2 und 3). Unser Forschungsprogramm läßt sich daher ebenso präzise wie umfassend formulieren als Untersuchung

„Zur Rolle der Bodenfauna beim Abbau des pflanzlichen Bestandesabfalls eines Buchenwaldes“

Ich will hier nur grob die einzelnen Untersuchungsschritte aufzeigen. Die speziellen Methoden sollen zusammen mit den Ergebnissen in den nächsten Jahren von verschiedenen Autoren dargestellt werden unter dem Obertitel „Zur Biologie eines Buchenwaldbodens“

Unser Forschungsprogramm geht in 5 Schritten vor:

1. der pflanzliche Bestandesabfall stellt weit über 90%, wahrscheinlich über 95% des Stoff- und Energievorrats, der die Grundlage für alle biologischen Prozesse bildet. Es ist der „input“ des Teilökosystems Boden und Nahrungsgrundlage der saprovoren Organismen. Wir versuchen ihn zu erfassen durch kontinuierliches Auffangen von Fallaub, Knospenschuppen, Fruchthüllen und Samen, und durch Absammeln des gefallenen Holzes auf einer Probefläche im dreimonatigen Abstand.
2. Der Bestandesabfall wird nach Menge, Stoff- und Energiegehalt analysiert: Frischgewicht, Trockengewicht, Kohlenstoff-, Stickstoff- und Aschegehalt sowie Gehalt der Asche an den wichtigsten Mineralstoffen wie Calcium, Kalium, Magnesium, Natrium, Eisen und Phosphat. Diese weitergehenden Analysen beschränken sich allerdings auf das Fallaub, dessen Abbau wir speziell untersuchen.
3. Der Bestand an Bodentieren und seine Änderung im Jahresablauf und über mehrere Jahre hinweg wird soweit als möglich erfaßt, d. h. Artenzahl, Populationsdichte sowie Phänologie und Dichteschwankungen der Populationen. Im Boden lebt eine Vielzahl von Tieren, angefangen von der Mikrofauna aus Protozoen, Rotatorien, Nematoden, über die Mesofauna mit Enchyträen und zahlreichen Kleinarthropoden, besonders Milben und Springschwänzen, die Makrofauna mit Schnecken, Tausendfüßlern, Asseln, Spinnen, Pseudoskorpionen, Käfern, Ohrwürmern und zahlreichen Insektenlarven bis zur Megafauna mit Regenwürmern und verschiedenen kleineren Wirbeltieren. Die unterschiedliche Größe und Lebensweise aller dieser Tiergruppen, die in einem einzigen Biotop nochmals bis zu einigen Dutzend verschiedener Arten umfassen können, machen grundsätzlich für jede Gruppe eine spezifische eigene Fangmethode erforderlich. Es gibt nur wenige Möglichkeiten, mit vertretbarem Arbeitsaufwand einen einigermaßen quantitativen Überblick über die Mehrzahl der Tiergruppen zu bekommen. Hierzu zählt in erster Linie die einfache Handauslese, wobei die zu untersuchende Probe Blatt für Blatt und Krümel für Krümel auf dem Labortisch durchsucht wird; man erhält damit die wesentlichen Anteile der Makrofauna. Die wichtigsten Gruppen der Mesofauna können wir ebenfalls einigermaßen erfassen, so daß wir einen guten Überblick über die ge-

samen Arthropoden des Bodens, d. h. die Meso- und Makrofauna erwarten können. Ergänzende Aufsammlungen sollen das Artenspektrum in Richtung Mikrofauna (Nematoden) und Megafauna (Regenwürmer und Mäuse) vervollständigen.

4. Die bodenbiologisch wichtigste Leistung der Tiere ist neben der Bewegungsaktivität (Wühlen und Graben, damit Lockern und Durchlüften) die Fraßaktivität. Hierzu muß man die spezifische Ernährungsweise einer Tierart ermitteln, etwa durch Futterwahlversuche und Untersuchung des Darminhalts. Eine pauschale Abschätzung der Leistung einzelner Tiergruppen und ihrer Wechselbeziehung zur Mikroflora versuchen wir dadurch zu erreichen, daß wir Fallaub im Herbst in Kunststoffnetzbeutel verschiedener Maschenweiten einfüllen und im Wald auslegen. Je nach Maschenweite werden unterschiedliche Tiergruppen ausgeschlossen, und die zweimonatige Entnahme und Untersuchung von Netzbeuteln erlaubt eine Beurteilung des Abbaus des Fallaubs unter der Beteiligung verschiedener Organismengruppen.

5. Schließlich versuchen wir die spezifische Leistung einiger nach Biomasse und Ernährungsweise wichtiger Tierarten nicht nur qualitativ, sondern auch quantitativ zu erfassen. Dies bedeutet Haltung der Tiere im Labor, Wiegen von Futter- und Faecesmengen sowie der Gewichtsveränderungen der Tiere, Feststellen des Brennwertes und des spezifischen Stoffgehaltes der verschiedenen Substanzen. Über die Hochrechnung der Leistung einzelner Tiere mit den aus dem Freiland ermittelten Daten der Populationsdichte und deren Änderungen gelangt man dann zu einer Abschätzung der Bedeutung einzelner Bodentierarten für den Abbau des Fallaubs.

4. Ökologische Forschung am Museum

Die Untersuchung der bodenbiologischen Prozesse in ihrer Gesamtheit würde die Möglichkeiten einer kleinen Arbeitsgruppe bei weitem übersteigen. Hinzu kommt, daß wir von einem Museum aus Fragestellungen und Lösungsmöglichkeiten anders angehen müssen als an einer Universität, um den spezifischen Aufgaben eines Naturkundemuseums gerecht zu werden.

FITKAU (1978) sieht diese Aufgaben eindeutig und ausschließlich auf dem Gebiet der Systematik, die allerdings nach Bedarf und von Fall zu Fall verschieden um eine ganze Palette von Disziplinen erweitert werden muß; zu diesen Disziplinen rechnet er zuvörderst die Ökologie. Zur Begründung führt er im wesentlichen 3 Punkte an:

1. Ein guter Systematiker sollte ökologisch geschult sein, aber eben Systematiker bleiben, da man erfolgreich nur einer der beiden Disziplinen dienen kann.
2. Abwertung systematischer Forschung durch die Vertreter anderer biologischer Disziplinen „brachte die Forschungsmuseen zunehmend in ein akademisches Abseits“, führte zu einer „auffallenden Unterbewertung durch forschungsfördernde Institutionen“; an Museen sollte man aber alle wissenschaftlichen Aktivitäten wieder „danach bewerten, wie weit sie für die systematische Forschung förderlich sind“
3. Die Museen sind „Anlaufstellen für die immer weniger werdenden ernsthaften taxonomisch-faunistischen Laienforscher geworden“ woraus ihnen eine „große Verantwortung für die Erhaltung und Weiterentwicklung systematischer Forschung“ erwachse.

Hierin liegt eine Wertbestimmung der Systematik, die sich aus der Ökologie herleitet, Systematik als Disziplin im Dienste der Ökologie und deren weitgespannten Aufgaben bei der Bewältigung der Umweltprobleme. Sie unterscheidet sich grundsätzlich von der Systematik, die phylogenetische Ziele hat, wie die Erarbeitung eines „natürlichen Systems“, die traditionelles Anliegen der Museumssystematiker ist. Soweit es sich hierbei um die Systematik höherer Taxa handelt, ist sie durchaus noch an unseren Universitäten zuhause und wird mit einer Methodenpalette aus nahezu sämtlichen biologischen Disziplinen bearbeitet. Handelt sich es je-

doch um die Systematik auf dem Niveau der Familie, Gattung oder Art, dann stimmt in der Tat die Feststellung FITTKAUS, daß die systematische Forschungsrichtung weitgehend aus dem Hochschulraum hinausgedrängt wurde.

Ich stimme mit FITTKAU völlig überein, daß Systematik die unabdingbare Aufgabe der Forschung an Museen bleiben muß, und ebenso sehe ich den Schwerpunkt dabei nicht auf der Phylogenie höherer Taxa, sondern auf der Taxonomie der Familien, Gattungen und Arten als Basis für dringend notwendige, freilandökologische Arbeiten. Ich folgere daraus aber eine etwas andere Verteilung der Gewichte als FITTKAU.

Wenn ein guter Systematiker Ökologe sein soll, dann muß er Ökologie lernen. Ökologie erschöpft sich aber längst nicht mehr in faunistischen Bestandsaufnahmen unter Einbeziehung ökologischer Daten, sie setzt vielmehr eine möglichst breite Methodenkenntnis und experimentelle Erfahrung voraus. Wenn dieser Ökologe aber Systematiker bleiben soll, dann muß er Systematik, genauer Taxonomie niederer Taxa lernen und das kann er fast nur noch – siehe oben – an einem Museum. Daher muß m. E. die Folgerung sein, ein auch experimentell-methodisch auf dem heute erforderlichen Niveau befindliches ökologisches Forschungsprogramm am Museum selbst durchzuführen. Dabei können die anzuwendenden Methoden sowohl von den technischen und finanziellen Möglichkeiten her, wie aber auch aus prinzipiellen Erwägungen nicht zu spezialisierte Techniken etwa der Reiz- und Stoffwechselfysiologie, der Genetik oder der Entwicklungsphysiologie umfassen; sie müssen auf einfachere grundlegende Techniken beschränkt bleiben, deren Auswahl von der Fragestellung abhängt. Ein weiteres Argument kommt hinzu: Der Stellenmarkt für Systematiker ist äußerst eng, da praktisch nur Museumsstellen für ihn in Frage kommen. Ein Systematiker muß sich daher mit einigen Arbeiten auch als methodisch bewandeter Ökologe ausweisen können, um Zugang zu einem breiteren Stellenmarkt zu haben. An dieser Notwendigkeit werden wir sicher auf lange Zeit nicht vorbeikommen, und wir sind es dem wissenschaftlichen Nachwuchs schuldig, ihm die erforderlichen Arbeitsmöglichkeiten zu bieten. Auch das dritte Argument Fittkaus spricht m. E. eher für eine „museumseigene“ Ökologie: Als Anlaufstelle für ernsthafte taxonomische Laienforscher ist der Museumssystematiker mit einem sichtbar erweiterten Arbeitsspektrum eine Herausforderung, es nicht beim bloßen Sammeln und Etikettieren bewenden zu lassen, sondern sich auch um den ökologischen Bezug seiner Tiergruppe zu kümmern. In einzelnen Fällen stellt nämlich der interessierte Sammler bereits eine Gefahr für den Bestand mancher selten gewordenen Art dar.

Ich will damit nicht den Primat der Systematik am Museum in Zweifel ziehen, ihn gleichzeitig aber nicht mit dieser Ausschließlichkeit verfechten wie FITTKAU. Trotz des berechtigten Einwands, daß man schon aus rein arbeitszeitlichen Gründen nur eine Sache richtig machen kann, stimme ich für ein sowohl-als-auch; denn ich sehe keinen so grundsätzlichen Trennstrich zwischen Systematik und Ökologie. Innerhalb einer Arbeitsgruppe ergeben sich für den einzelnen Wissenschaftler Schwerpunkte mehr in der einen oder der anderen Disziplin, und diese Schwerpunkte können sich im Verlaufe der Arbeit verlagern, ohne daß daraus Oberflächlichkeit resultieren muß. Im Verlauf eines Forscherlebens kann es mehrere Verlagerungen der Arbeitsschwerpunkte geben, und diese können durchaus fruchtbar sein.

In diesem Rahmen ist unser ökologisches Forschungsprogramm an den Landessammlungen für Naturkunde Karlsruhe – einem Forschungsmuseum – zu sehen.

Literatur

- BENNERT, W. (1973): Chemisch-ökologische Untersuchungen an Arten der Krautschicht eines montanen Hainsimsen-Buchenwaldes (Luzulo-Fagetum). – Diss. Freie Universität Berlin, 216 S; Berlin.
- ELLENBERG, H. (1971): Introductory Survey. – In ELLENBERG, H. [Hrsg.]: Integrated Experimental Ecology 1–15; Berlin, Heidelberg, New York (Springer).

- ELLENBERG, H. [Hrsg.] (1971): *Integrated Experimental Ecology*. – *Ecol. Stud.* **2**, 214 S., 53 Fig.; Berlin, Heidelberg, New York (Springer).
- ELLENBERG, H. [Hrsg.] (1973): *Ökosystemforschung* – 280 S., 101 Abb., Berlin, Heidelberg, New York (Springer).
- FITTKAU, E. J. (1978): *Naturhistorische Museen und Ökologie*. – *Museumskunde*, **43**, 23–28; Frankfurt a. M.
- FUNKE, W. (1973): *Rolle der Tiere in Waldökosystemen des Solling*. – In ELLENBERG, H. [Hrsg.]: *Ökosystemforschung*, 143–164; Berlin, Heidelberg, New York (Springer).
- FUNKE, W. (1977): *Das Zoologische Forschungsprogramm im Sollingprojekt*. – *Verh. Ges. Ökol.*, Göttingen 1976: 49–58; The Hague.
- LEIBUNDGUT, H. (1970): *Der Wald*. – 2. Aufl., 200 S., 75 Abb., 40 Fig.; Frauenfeld, Stuttgart (Huber).
- RUNGE, M. (1973): *Der biologische Energieumsatz in Land–Ökosystemen unter Einfluß des Menschen*. – In ELLENBERG, H. [Hrsg.]: *Ökosystemforschung*, 123–141; Berlin, Heidelberg, New York (Springer).
- THIEDE, U. (1977): *Untersuchungen über die Arthropodenfauna in Fichtenforsten (Populationsökologie, Energieumsatz)*. – *Zool. Jb. Syst.*, 104: 137–202; Jena.
- WALTER, H. (1973): *Allgemeine Geobotanik*. – 256 S., 135 Abb., 22 Tab.; Stuttgart (Ulmer).

Anschrift des Verfassers: Prof. Dr. LUDWIG BECK, Landessammlungen für Naturkunde, Postfach 4045, Erbprinzenstr. 13, D–7500 Karlsruhe 1