

ANWENDUNG DES MIKROBIELLEN RESPIRATIONS-/BIOMASSE- VERHÄLTNISSSES FÜR BODENÖKOLOGISCHE STUDIEN

Heribert Insam

ABSTRACT

In this study, two hypotheses are proposed. (1) Succession of an ecosystem is accompanied by a decrease of the soil microbial respiration-to-biomass (R_{mic}/C_{mic}) ratio. (2) Stress causes an increase of R_{mic}/C_{mic} . The first hypothesis was tested with soils from comparable sites of primary successions on recessional moraines of the Rotmoos Ferner (Austria) and the Athabasca Glacier (Canada), covering a time range of 1.000 and 250 years, respectively. The second hypothesis was tested with soils from the root zone of *Deschampsia caespitosa* from heavy metal contaminated and control sites.

The R_{mic}/C_{mic} decreased from 16 to 6 $mg\ CO_2\cdot C\cdot g^{-1}\ C_{mic}\cdot h^{-1}$ and from 4 to 2 mg on the Athabasca and Rotmoos moraines, respectively. The results confirm hypothesis (1).

Microbial biomass (C_{mic}) was 926 and 464 $\mu g\ C_{mic}\cdot g^{-1}$ soil on the control and heavy metal contaminated site, respectively. Basal respiration (R_{mic}) was higher on the contaminated (35 $\mu g\ CO_2\cdot g^{-1}\ soil\cdot h^{-1}$) than on the control (18 μg) site. As a consequence, the R_{mic}/C_{mic} was four times higher on the contaminated than on the control site (20 $mg\ CO_2\cdot C\cdot g^{-1}\ C_{mic}$ as opposed to 5 mg), confirming the hypothesis that stress would result in an increase of R_{mic}/C_{mic} .

In the paper it is pointed out that currently different terminology is used for the same phenomenon. Here, from an ecological point of view, the ratio microbial respiration - to - biomass (R_{mic}/C_{mic}) is used synonymous to the metabolic quotient (qCO_2) or specific respiration used in other publications.

keywords: *microbial respiration-to-biomass-ratio, Rotmoos Ferner (Austria), Athabasca Glacier (Canada), soil root zone, Deschampsia caespitosa, microbial biomass, metabolic quotient*

1. EINFÜHRUNG

Die Energetik von Organismen hat schon seit langem Wissenschaftler aller Disziplinen beschäftigt, jedoch weniger Biologen als vielmehr Physiker und Chemiker. So hat z.B. SCHRÖDINGER (1944) sehr eindrucksvoll auf den Zusammenhang zwischen evolutionärer Entwicklung und thermodynamischen Prinzipien hingewiesen: Demnach sollten sich solche Organismen evolutiv durchsetzen, denen es gelingt, mit möglichst geringem Einsatz an Energie ein Minimum an Entropie zu erhalten. E. P. ODUM (1971) hat dieses Prinzip in einen ökologischen Zusammenhang gebracht: In einem Ökosystem kann das Verhältnis von Atmung der gesamten Gemeinschaft (R) zur Biomasse (B) der gesamten Gemeinschaft als Maß für die Erhaltung der Struktur angesehen werden. Im Zuge der Entwicklung eines Ökosystems sollten stets energetisch günstigere Stadien ungünstigere ersetzen, es sollte demnach das R/B-Verhältnis abnehmen. Im Klimax-Stadium eines Ökosystems sollte das R/B-Verhältnis theoretisch sein Minimum erreichen.

Wir wissen, daß der größte Teil der Energie, die bei der Primärproduktion festgelegt wird, früher oder später den Boden erreicht und für mikrobiellen Abbau zugänglich wird. Daraus leiten wir als erste Hypothese ab, daß ODUMs ökosystemare Gesamtatmung und -biomasse auch Gültigkeit für das Teilsystem "mikrobielle Atmung (R_{mic}) und mikrobielle Biomasse

(Bmic)" besitzt und auf Prozesse der Bodenentwicklung übertragen werden kann: So wie R/B, sollte auch R_{mic}/B_{mic} mit fortschreitender Sukzession kleiner werden (INSAM und HASELWANDTER 1989). Neben die erste Hypothese soll noch eine weitere gestellt werden: Zusammenhänge zwischen R/B-Verhältnis und Belastungen von Ökosystemen sind mehrfach gefunden worden. Das R/B-Verhältnis belasteter Systeme war höher als das unbelasteter. Das kann so interpretiert werden, daß Belastung (z.B. durch Schadstoffe) einen erhöhten Erhaltungsaufwand erfordert. Daher liegt die Vermutung nahe, daß auch das R_{mic}/B_{mic}-Verhältnis gleichermaßen bei Belastung ansteigt. Hinweise dafür gibt es in der mikrobiologischen Literatur für Abbauuntersuchungen im Labor (KILLHAM 1985), ohne daß jedoch ein Bezug zur Ökosystemtheorie hergestellt wurde.

Um die Hypothesen zu untermauern, wurden Böden von zwei Primärsukzessionen sowie Bodenproben schwermetallbelasteter und unbelasteter Standorte der Rasenschmiele (*Deschampsia caespitosa*) untersucht.

2. MATERIAL UND METHODEN

Bei den Böden für die natürlichen Sukzessionen handelt es sich um verschiedenen alte Entwicklungsstadien auf Gletscherendmoränen des Rotmoos Ferner (Österreich) und des Athabasca Glacier (Kanada). Eine genaue Beschreibung der verschiedenen Sukzessionsstadien und Böden ist bei JOCHIMSEN (1970), sowie KITE und REID (1977) und FITTER und PARSONS (1986) zu finden. Von LUCKMAN (1988) wurde eine neue Datierung der Athabasca Moränen durchgeführt, wodurch sich leichte Korrekturen gegenüber früheren Arbeiten ergeben. Die Datierung sowie C_{org}-Gehalte sind Tabelle 1 zu entnehmen. Von jedem Standort wurden 8 Einzelproben gezogen, wobei nach Möglichkeit die obersten 10 cm entnommen wurden. Details der Probennahme sind bei INSAM und HASELWANDTER (1989) beschrieben.

Tab. 1: Organischer Kohlenstoff, Basalatmung, mikrobielle Biomasse und mikrobielles Respirations/Biomasseverhältnis von Endmoränenböden

Alter des Standortes	organischer Kohlenstoff (%)	Basalatmung ($\frac{\mu\text{g CO}_2}{\text{g Boden}\cdot\text{h}}$)	mikrobielle Biomasse ($\frac{\mu\text{g Cmic}}{\text{g Boden}}$)	R _{mic} /C _{mic} ($\frac{\text{CO}_2\text{-C}}{\text{Cmic}\cdot\text{h}}$)
Rotmoos-Ferner				
1	0.19	0.6 ± 0.2	41.9 ± 5.7	3.9
5	0.56	2.9 ± 0.3	139.4 ± 14.4	5.7
65	1.57	11.1 ± 1.3	787.3 ± 25.7	3.8
135	2.22	11.9 ± 2.6	1099.4 ± 56.0	2.9
~1000	7.08	16.5 ± 2.0	2247.6 ± 189.8	2.0
Athabasca Glacier				
27	0.21	2.5	43.9	15.5
42	0.32	4.1	73.8	15.1
32	0.58	6.2	143.7	11.8
59	0.43	4.3	68.6	17.1
68	0.72	7.1	264.1	7.3
79	0.77	6.7	171.6	10.6
87	1.29	11.8	303.8	10.6
97	0.82	9.7	283.2	9.3
144	1.24	10.0	297.8	9.2
250	4.96	28.6	1314.8	5.9

Für die Untersuchung der Wirkung eines Stressors auf R_{mic}/C_{mic} wurden Bodenproben aus der Wurzelzone von *D. caespitosa* einer Pochsandhalde (Clausthal-Zellerfeld) und eines unbelasteten Standortes (Elm) gezogen (Tab. 2). Nähere Angaben über die Standorte sind bei VON FRENCKELL (1990) zu finden.

Tab. 2: Schwermetallbelastete und unbelastete Standorte von *Deschampsia caespitosa*: Organischer Kohlenstoff, Basalatmung, mikrobielle Biomasse und mikrobielles Respirations/Biomasseverhältnis

Schwermetalle im Boden (ppm)	organischer Kohlenstoff (%)	Basalatmung ($\frac{\mu\text{g CO}_2}{\text{g Boden}\cdot\text{h}}$)	Mikrobielle Biomasse ($\frac{\mu\text{g C}_{mic}}{\text{g Boden}}$)	R_{mic}/C_{mic} ($\frac{\text{CO}_2\text{-C}}{\text{C}_{mic}\cdot\text{h}}$)
nicht belastet Zn 0.3, Pb<0.3	9.0	18 ± 1	926 ± 125	5.30
belastet Zn 15, Pb 3.5	2.2	35 ± 7	464 ± 148	20.57

Die Proben wurden gesiebt (<2mm), auf einen Wassergehalt eingestellt, der 60 % der Wasserkapazität entspricht, und bei 4 °C gelagert. Vor den Messungen wurden die Proben für 3 Tage an 22 °C adaptiert. Sowohl die Messung der Basalatmung als auch die Bestimmung der mikrobiellen Biomasse (substratinduzierte Respiration (SIR) nach ANDERSON und DOMSCH 1978) erfolgte bei 22 °C. Basalatmung ($\mu\text{g}\cdot\text{CO}_2\cdot\text{g}^{-1}\text{Boden}\cdot\text{h}^{-1}$) und mikrobielle Biomasse ($\mu\text{g C}_{mic}\cdot\text{g}^{-1}\text{Boden}$) wurden jeweils an derselben Probe gemessen. Nach 15stündiger Durchspülung der Probe mit Luft wurde die Basalatmung abgelesen, danach wurden die Proben zur Biomassebestimmung mit Glukose (0,1 - 0,5 % vom Boden-Trockengewicht) vermengt. Die Messung des produzierten CO_2 erfolgte mit einem Infrarot-Gasanalysator (IRGA MK 3, ADC, Hoddeston, England). Das R_{mic}/C_{mic} -Verhältnis wird in $\text{mg CO}_2\cdot\text{C}\cdot\text{g}^{-1}\text{C}_{mic}\cdot\text{h}^{-1}$ angegeben. Demnach wird der Atmungs-Kohlenstoff auf mikrobiellen Biomasse-Kohlenstoff (R_{mic}/C_{mic}) bezogen, was den Vergleich mit früheren bodenbiologischen Arbeiten (z. B. ANDERSON und DOMSCH 1985; INSAM und HASELWANDTER 1989) erleichtert. In diesen Arbeiten wurde vom gleichen Sachverhalt (R_{mic}/C_{mic}) mit dem Terminus metabolischer Quotient ($q\text{CO}_2$) berichtet.

3. ERGEBNISSE UND DISKUSSION

Die 1. Hypothese wurde durch die Ergebnisse für die Primärsukzessionen bestätigt (Tab. 2). Es zeigte sich, daß sowohl R_{mic} als auch C_{mic} im Laufe der Entwicklung des Ökosystems ansteigen. Wie aus Abb. 1 zu sehen ist, fällt jedoch der Quotient aus R_{mic}/C_{mic} ab. Dieselbe Beobachtung wurde auch für die Endmoränen des Athabasca Glacier gemacht (Abb. 1). In beiden Fällen verlief die Entwicklung während der Frühphase schneller als später. Mit der Entwicklung des Ökosystems nähert sich das R_{mic}/C_{mic} -Verhältnis offenbar einem Gleichgewichtszustand.

Die energetische Optimierung der Destruenten-Gemeinschaft im Laufe der Ökosystementwicklung bietet sich zur Erklärung des beobachteten Phänomens an. Dabei können mehrere Mechanismen von Bedeutung sein. Durch eine Diversifizierung des Substratangebotes im Laufe der Entwicklung des Ökosystems kann auch eine größere Vielfalt von Mikroorganismen angenommen werden. Dadurch ist eine bessere Ausnützung des Substratangebotes denkbar. Auch eine völlige Verschiebung der mikrobiellen Populationsstruktur von r-Strategen zu K-Strategen ist möglich. r-Strategen sind, was die Substratverwertung betrifft, weniger effizient

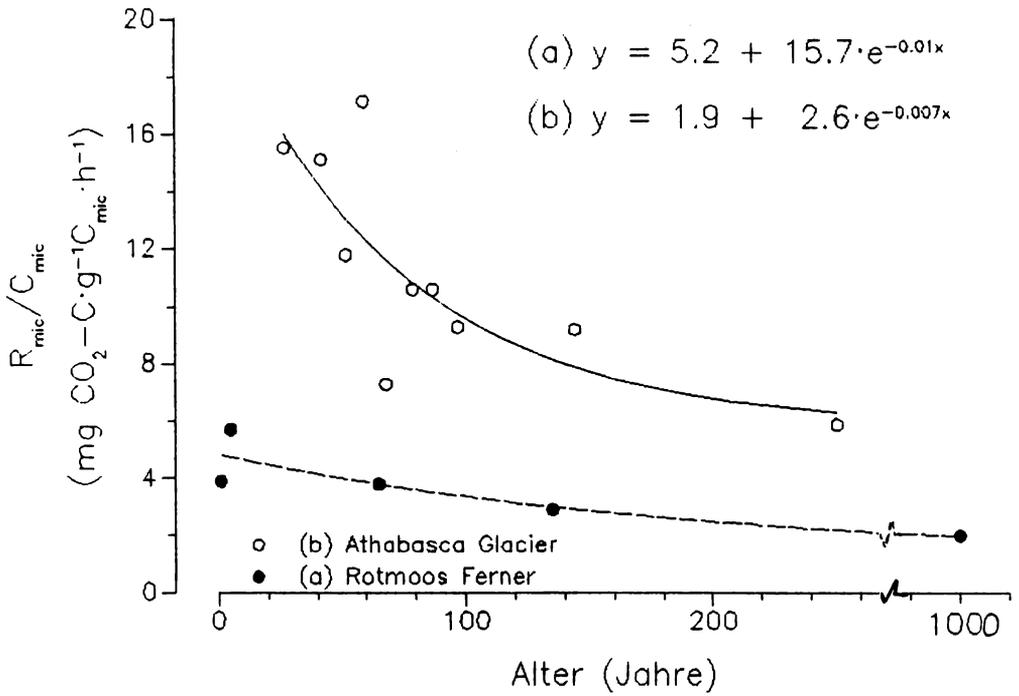


Abb. 1: Mikrobielles Respirations/Biomasseverhältnis (R_{mic}/C_{mic}) der Endmoränenböden von (a) Rotmoos Ferner und (b) Athabasca Glacier, aufgetragen gegen das Alter der Moränen

als K-Strategen. Ähnliche Schlüsse hat auch MAIRE (1985) aus Gefäßversuchen gezogen, bei denen mit fortschreitender Zeit eine Erniedrigung des Verhältnisses von Atmung zum ATP-Gehalt eines Bodens gefunden wurde.

Für die Annahme, daß sich Belastungen eines Bodens auf das R_{mic}/B_{mic} -Verhältnis auswirken, haben wir nur erste Hinweise. Die Basalatmung von Proben aus der Wurzelzone unter Horsten von *D. caespitosa* war am belasteten Standort höher als am unbelasteten. Die mikrobielle Biomasse dagegen war am unbelasteten Standort höher. Daraus ergab sich für die belasteten Böden ein R_{mic}/C_{mic} -Verhältnis, das viermal so hoch war wie das auf den unbelasteten (Tab. 2). Diese Ergebnisse bestätigen die Annahme, daß Stressoren eine Erhöhung des R_{mic}/C_{mic} -Verhältnisses bewirken. Man könnte dies mit höheren Kosten für die Erhaltung der Mikroorganismengemeinschaft unter Stressbedingungen erklären. Die Ergebnisse machen auch deutlich, daß durch Kombination einer Poolgröße (Biomasse) und eines Maßes für Aktivität (Atmung) interessante funktionelle Zusammenhänge aufgezeigt werden können. Dies ist mit der Erhebung nur eines dieser Parameter nicht möglich. Die Berechnung eines Quotienten mildert auch das Problem eines Vergleiches zweier pedologisch verschiedener Standorte.

In diesem Zusammenhang sei noch einmal darauf hingewiesen, daß die Begriffe **metabolischer Quotient** (qCO_2) (ANDERSON und DOMSCH 1985; INSAM und HASELWANDTER 1989), **spezifische Aktivität** (SANTRUCKOVA, im Druck) und **mikrobielles Respirations-Biomasseverhältnis** (R_{mic}/C_{mic}) die gleichen Zusammenhänge beschreiben. In dieser Arbeit wurde mit Hinblick auf die Herleitung des Prinzips aus der Ökologie der Bezeichnung R_{mic}/B_{mic} bzw. R_{mic}/C_{mic} den Vorzug gegeben. Betrachtet man den Zusammenhang zwischen Atmung und Biomasse aus physiologischer Sicht, ist der Terminus **metabolischer Quotient** (qCO_2) vorzuziehen. Eine Betrachtung des qCO_2 und anderer ökophysiologischer Parameter in der Bodenbiologie findet sich bei ANDERSON und DOMSCH (1990).

LITERATUR

- 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.
- ANDERSON T.-H., DOMSCH K.H., 1990: Anwendung ökophysiologischer Parameter zur Charakterisierung mikrobieller Biomassen im Boden. - *Verh. Ges. f. Ökologie Osnabrück* 1989) Bd. XIX/II: 324-329.
- ANDERSON T.H., DOMSCH K.H., 1985: Determination of ecophysiological maintenance carbon requirements of soil microorganisms in a dormant state. - *Biol Fert Soils* 1: 81-89.
- FITTER A.H., PARSONS W.F.J., 1986: Changes in phosphorus and nitrogen availability on recessional moraines of the Athabasca Glacier, Alberta. - *Can. J. Bot.* 65: 210-213.
- FRENCKELL B.A.K. von, 1990: Heavy metal tolerance and cotolerance in the grass *D. cespitosa*. - M.Sc. thesis, Univ. of Toronto, Canada.
- INSAM H., HASELWANDTER K., 1989: Metabolic quotient of the soil microflora in relation to plant succession. - *Oecologia* 79: 174-178.
- JOCHIMSEN M., 1970: Die Vegetationsentwicklung auf Moränenböden in Abhängigkeit von einigen Umweltfaktoren. - *Alpinbiologische Studien* 2, Veröffentl. der Universität Innsbruck 46: 22.
- KILLHAM K., 1985: A physiological determination of the impact of environmental stress on the activity of microbial biomass. - *Environmental Pollution* 38: 283-294.
- KITE G.W., REID I.A., 1977: Volumetric change of the Athabasca Glacier over the last 100 years. - *J Hydrol* 32: 279-294.
- LUCKMAN B.H., 1988: Dating the moraines and recession of Athabasca and Dome Glaciers, Alberta, Canada. - *Arctic and Alpine Research* 20: 40-54.
- MAIRE N., 1987: Evaluation de la vie microbienne dans les sols par un système d'analyses biochimiques standardisé. - *Soil Biol Biochem.* 19: 491-500.
- ODUM E.P., 1971: *Fundamentals of Ecology*. - Saunders, Philadelphia, London, Toronto.
- SANTRUCKOVA H., STRASKRABA H., (im Druck): On the relation of microbial activity to biomass in soil ecosystems.
- SCHRÖDINGER E., 1944: *What is life?* - Cambridge Univ. Press, Cambridge.

ADRESSE

Heribert Insam
Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft
Institut für Bodenbiologie
Bundesallee 50
D-W-3300 Braunschweig

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie](#)

Jahr/Year: 1990

Band/Volume: [19_2_1990](#)

Autor(en)/Author(s): Insam Heribert

Artikel/Article: [Anwendung des mikrobiellen Restpirations-
/Biomasseverhältnisses für Bodenökologische Studien 330-334](#)