

Eine kritische Analyse von Ruschs Theorien zur Bodenfruchtbarkeit als Grundlage für die Bodenbewirtschaftung im Ökologischen Landbau

Hans Marten Paulsen*, Stefan Schrader** und Ewald Schnug***

Zusammenfassung

Auf die in den 50er und 60er Jahren publizierten Theorien zur Bodenfruchtbarkeit von Hans Peter Rusch wird im organisch-biologischen Landbau heute noch Bezug genommen. Zu nennen sind hier der Rusch-Test zur Einstufung der biologischen Qualität der organischen Substanz und von Böden, die Systematisierung des Abbaus organischer Substanz im Boden und der Humusbildung sowie die Flächenkompostierung. Ruschs Lehren zielen auf eine Verbesserung der Bodengare durch effiziente Zufuhr organischer Substanz und Humusbildung sowie auf die Verbesserung der Ausnutzung von Nährstoffen. Gegen den Geist seiner Zeit grenzte sich Rusch von der Mineraldüngung ab und hebt die auch heute unbestrittene Rolle des Humus für die Bodenfruchtbarkeit hervor. Die tatsächliche Bedeutung von Ruschs Nachweismethoden zur Charakterisierung der Abbaubarkeit von Materialien und von mikrobiellen Kennziffern im Boden für die Landwirtschaft ist vermutlich gering und wissenschaftlich nicht belegt. Sein systematischer Ansatz zum Abbau organischer Substanz im Boden, zur Humusbildung und seine daraus abgeleiteten Konsequenzen für das Management von Wirtschaftsdüngern und anderen in der Landwirtschaft anfallenden organischen Materialien sind auch nach heutigem Kenntnisstand nicht zu widerlegen, erfordern aber eine Überprüfung.

Schlüsselwörter: Rusch-Test, Bodenfruchtbarkeit, organisch-biologischer Landbau, Bodengare, Humusqualität, Bodenleben, Flächenkompostierung, Hans Peter Rusch

Abstract

A critical assessment of the Rusch theory on soil fertility as basis for soil management in Organic Farming

Organic-biological agriculture still draws on the theories on soil fertility published by the German scientist Hans Peter Rusch in the 1950s and 1960s, namely the Rusch-Test determining the biological quality of organic matter and soils, the decomposition of organic material in soils to humus and the surface-composting. Rusch's teachings address the advancing of soil tilth by efficient application of organic matter and humus formation and an improved nutrient use. Rusch strictly rejected the upcoming mineral fertilization and emphasized the role of humus for soil quality, which is even today beyond debate. Rusch's methods to characterize degradability of organic materials in soil and his microbial parameters are of little importance in practical agriculture and they have not been scientifically proven. However, his systematic approach to the decomposition of organic materials in soil, to humus formation and his consequences for the management of farmyard manure and other sources of organic matter can not be refuted with today's knowledge, but still need to be validated.

Keywords: Rusch-test, soil fertility, organic-biologic agriculture, soil tilth, humus quality, soil life, surface-composting, Hans Peter Rusch

* Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Institut für Ökologischen Landbau, Trenthorst

** Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Institut für Biodiversität, Braunschweig

*** Julius Kühn-Institut (JKI), Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde, Braunschweig

1 Einleitung

Der Ökologische Landbau adressiert in seinen Bewirtschaftungsregeln die Bedeutung natürlicher Bodenfruchtbarkeit und die Notwendigkeit diese zu erhalten und zu fördern. Kernpunkte für die Ausgestaltung der Nährstoffversorgung der Pflanzen sind dabei die Minimierung des Verbrauchs nicht erneuerbarer Ressourcen und von außerbetrieblichen Produktionsmitteln, die Nutzung von Ressourcen in lokal organisierten landwirtschaftlichen Systemen, die Nährstoffbereitstellung aus dem Boden sowie die Rückführung von Abfällen und Nebenerzeugnissen pflanzlichen und tierischen Ursprungs (Durchführungsverordnung (EG) 889/2008; Öko-Basisverordnung (EG) 834/2007).

Der organisch-biologische Landbau ist eine Form des Ökologischen Landbaus, die sich aus den Überlegungen von Hans Müller (1891 bis 1988) und Hans Peter Rusch (1906 bis 1977) entwickelte (Lockeretz, 2007). Rusch hielt unter anderem Vorträge über die „Erhaltung und den Kreislauf lebendiger Substanz“ (Rusch, 1955), verfasste ein Buch über die Humuswirtschaft und den Nachweis von Bodenfruchtbarkeit (Rusch, 1964) sowie eine zusammenfassende und ergänzende Schrift über die Bedeutung seiner Methoden und Erkenntnisse für die Praxis des organisch-biologischen Landbaus (Rusch, 1970). Bis heute wird in den Bioland-Richtlinien auf die Lehren von Rusch als Grundlage für die Bodenbewirtschaftung Bezug genommen (Bioland Richtlinien, 2007). Jedoch ist die Kenntnis über die Inhalte heute weitgehend in Vergessenheit geraten. Im Folgenden sollen daher die Inhalte der Lehren von Rusch wiedergegeben und in den heutigen Forschungsstand eingeordnet werden.

1.1 Ruschs Leitlinien und Grundüberzeugung

„Die Resultate einer planmäßig gelenkten Humuswirtschaft sind einmalig und unerhört. Für den durchschnittlichen Landbaufachmann sind sie nicht nur erstaunlich, sondern vollends unglaublich. Die Umgestaltung des Landbaues unter dem Einfluss der klassischen Naturwissenschaft ist so tiefgehend, dass man das Wirken natürlicher Kräfte nicht mehr zu sehen bekommt und vergessen hat“ (225)¹.

Dieses Zitat zeigt die tiefe Überzeugung des Arztes Hans Peter Rusch, dass seine Erkenntnisse zur Humuswirtschaft, zur Rückbesinnung auf die natürlichen Kräfte, zur Herstellung von biologischen Gleichgewichten in der Bodenbe-

wirtschaftung nicht zu widerlegen seien. Ihm ist bewusst, dass sie im Lichte der 60er Jahre, in denen die Agrarchemie und Düngungslehre einen enormen Aufschwung hatten, geradezu revolutionär erscheinen. Er war daran interessiert Produktivität und Ertragssicherheit der Landwirtschaft zu steigern. Seine Vision einen großflächigen Bodenaustausch zwischen leichten und schweren Standorten zum Abgleich der Tongehalte von Böden durchzuführen (223) zeugt von der Aufbruchsstimmung seiner Zeit.

Als Leitlinie der Gedanken von Rusch kann so etwas wie: „Die Natur erhält sich selbst“ gesehen werden. Jedoch ist Rusch hier rational. Therapiemaßnahmen im akuten Fall bleiben für ihn sinnvoll. Er löst diesen Widerspruch wie folgt: *„Behandelt man nur das Symptom an sich ... fällt ... man ... dem Organismus damit in den Arm, im gleichen Moment, da er sich anschickt, die eigentliche Krankheit zu überwinden. Gewiss – Nothilfe muss gegeben werden, sobald es sich nicht um eine erfolgreiche Abwehrschlacht des Körpers handelt ...“ (21).*

1.2 Ruschs Thesen zur Bodenfruchtbarkeit

In seinem Buch „Bodenfruchtbarkeit“ aus dem Jahr 1964 legt er zunächst seine Auffassung dar, dass es sich bei künstlicher Düngung nicht um normale physiologische Pflanzenernährung handelt und sie eine Verschiebung des mineralischen Gleichgewichts zur Folge hat (17, 72). Eine ausgewogene künstliche Düngung scheint ihm nicht möglich. Vor allem die mineralische Stickstoffdüngung (19) aber auch die Düngung mit aufgeschlossenen schnell wirksamen Düngern (223) widerspräche der natürlichen Bereitstellung der Nährstoffe aus dem Boden und sei daher abzulehnen. Bei jeder Anwendung von Pflanzenschutzmitteln und Medikamenten sei ungewiss, welche Veränderungen zum Negativen damit bewirkt werden (24). Es werde keine echte Heilung erzielt (20). Die Selbstheilungskräfte würden außer Kraft gesetzt und das natürliche System geriete aus dem Gleichgewicht. Massenhaftes Auftreten von Schädlingen wird von Rusch als Regulativ angesehen, um die Ordnung des Lebendigen, die das Lebende an sich ausmache (33) und die aus dem Gleichgewicht geraten ist, wieder herzustellen (34, 66). Die Konsequenz, den Erreger zu vernichten ändere nichts, wenn das Prinzip der Fehlfunktion nicht verändert werde (39). Er fordert ein biologisches Denken (35) und konstatiert, dass nur natürliche Systeme stabil sind und ihren Bedarf selbst decken. Rusch erkennt in der Natur ein gerichtetes, selbst-erhaltendes System. Die Funktion lebendiger Abläufe dürfe nur an vollständigen biologischen Substanzkreisläufen dargestellt werden. In einem solchen „Ganzheitsexperiment“ seien einzig die Gesundheit und Fruchtbarkeit eines jeden Gliedes der Kreislaufkette Testkriterien. Als Testorganismen zur Beurteilung des gesamten Systems seien nur

¹ Kursiv gedruckter Text ist im Wortlaut Ruschs zitiert. Die Zahlen in Klammern geben die Seitenzahl des Zitats in der 6. Auflage von Ruschs Buch „Bodenfruchtbarkeit“ an (Rusch, 1964).

solche geeignet, die nachweislich mit allen Gliedern (Boden, Pflanze, Tier und Mensch) in Beziehung stehen (44). Als Beispiel nennt Rusch die Bakterienflora (42). Einzelne Bewertungsparameter, wie z. B. der Mineralstoffgehalt des Bodens seien für eine umfassende Bewertung der Bodenfruchtbarkeit nicht ausreichend (57). Fruchtbarkeit ist für ihn der Ausdruck gesunden Lebens und er postuliert, dass diese Fruchtbarkeit bereits im makromolekularen Bereich auftritt. Unter dem Eindruck der damaligen Entdeckung der DNS und der viralen Infektionen und Erbgutübertragung vermutet Rusch einen Kreislauf der lebendigen Substanzen (Rusch, 1960). Er meint, dass eine komplette Mineralisation bei der Autolyse organischen Gewebes im Boden nicht vorkomme. Vielmehr würden wertvolle Bestandteile der Organismen für den Neuaufbau „*lebendiger Gestalten*“ genutzt (54). Als Beleg führt Rusch die Fähigkeit von Pflanzen an, makromolekulare Stoffe über die Wurzel aufzunehmen. Humus sei Träger des Kreislaufs lebender Substanz (59). Ausgangspunkt Ruschs sind die Vorgänge beim Substanzumbau von unfruchtbaren organischen Resten (Pflanzenreste, Komposte) zu fruchtbaren organischen Düngern im Organismus „*Muttererde*“ (59). „*Humus ist kein Stoff, sondern ein Vorgang, ... die Trümmer der Lebensabfälle aufs Neue harmonisch zu ordnen*“ (75)... *ein Ausdruck der tätigen Beziehung zwischen dem Mutterboden und allen anderen Organismen*“ (91). Einzig die Bereitstellung der Pflanzennährstoffe aus den Umbauprozessen im Boden sei geeignet, Pflanzen harmonisch zu ernähren und vermindere die Schädlings- und Krankheitsanfälligkeit der Pflanzen (76) sowie Bodenmüdigkeit (77) im Sinne von Nährstoffmangel. Auch in seiner Schrift aus dem Jahr 1970 postuliert Rusch, dass bei Schädlings- und Krankheitsbefall meist der Boden „*schuld sei*“ und dies mit seinen Tests zur Bodengüte (siehe unten) nachvollzogen werden könnte.

Rusch hielt Kontakt zu zahlreichen „Humusbauern“ auf deren Betrieben intensiv organisch gedüngt wurde. Immer wieder werden von Rusch Stadtkomposte als wertvolle Dünger genannt (81), deren „*einwohnergleiche*“ Aufbringung wichtiger Bestandteil der Sicherung und Steigerung der Bodenfruchtbarkeit ist. Wobei der Zustand organischer Dünger, ihre Leistungsfähigkeit, ihre Gesundheit und Brauchbarkeit von Zustand, Leistungsfähigkeit, Gesundheit und Brauchbarkeit der Organismen abhängen, die sie produziert haben (85). In einer späteren Arbeit (Rusch, 1970) stellt sich Rusch jedoch kritisch zur Verwendung von Stadtkomposten. Er beschreibt, dass seine Tests auf biologische Wertigkeiten hier aufgrund von Fremdstoffen oft schlechte Werte aufwiesen und verweist auf seine mikrobiellen Tests als Indikator für die Brauchbarkeit der Komposte.

An Definitionen zur Komplexität der biologischen Vorgänge im Boden schließen sich allgemeine bodenkund-

liche Aussagen zu Bodenaufbau und Chemie an. Genannt werden hier einige der auch heute gültigen zentralen Faktoren der Bodenkunde: Bodenart (92) für die Durchlüftung und Wasserhaltefähigkeit, Tonminerale (95) als Nährstoffspeicher und Puffer sowie Kationenaustauschkapazität und Austauscherbelegung (96). Die Verbindung zur lebenden Substanz werde durch die Bildung von Ton-Humus-Komplexen geschaffen (96).

Bodenfruchtbarkeit definiert Rusch als „*die optimale Fähigkeit der makromolekularen Bodenkräfte, die Ordnungen der Abfallsubstanzen des oberirdischen Lebens wiederherzustellen oder zu erhalten und sie der Pflanze zu gegebener Zeit, neu geordnet und wohl versehen mit der zuständigen Garnitur mikromolekularer Stoffe, zur Verfügung zu stellen*“ (103). ... *(Sie) kommt nur zustande als Ergebnis des lebendigen Ablaufes »Bodennahrung – Garebildung – Rhizosphäre – Pflanze«, sie ist keine materielle Größe sondern eine biologisch funktionelle Kapazität*“ (104).

Im Kapitel „Das Wesen der Bodengare“ (105) werden zunächst Huminstoffe als nicht mehr weiter abbaubare polare Substanzen definiert, die fest mit den mineralischen Bestandteilen des Bodens verbunden sein können und eine hohe Austauschkapazität aufweisen. Dadurch seien sie am Aufbau der Bodengare beteiligt. Jedoch bestehe die Bodengare selbst aus „... *Stütz- und Füllsubstanzen, in die alle mobilen Lebensvorgänge eingebettet sind (sie regelt) den Gasabtausch und Wasserhaushalt...*“ (107).

In der oberen Bodenschicht (3 bis 8 cm) bildet sich nach Rusch beim Abbau organischer Substanz eine „*Zellgare*“ oder „*mikrobielle Gare*“ aus. Definiert ist diese durch die Anreicherung von Mikroorganismen, die die Primärzersetzungsprozesse der organischen Substanz im Boden durchführen. Voraussetzung für die Abbautätigkeit sei jedoch eine natürliche Bodendecke aus nicht verarbeitetem Material als Licht-, Austrocknungs- und Erosionsschutz, sowie für die Luftzufuhr (109). Fehle der Nachschub an organischer Substanz ginge die mikrobielle Gare zugrunde. Übrig bliebe eine „*zelluläre Rest-Gare*“ (109). Rusch zieht hieraus Konsequenzen für die organische Düngung und die dauerhafte Erhaltung einer Zellgareschicht: „*Je vielseitiger die Düngung, umso besser für die Gare. ... Schwere Böden bedürfen einer anderen organischen Düngung als leichte. ... Es soll möglichst nicht zuviel auf einmal gedüngt werden und dies nicht nur einmal jährlich, sondern verteilt auf viele Einzeldosen*“ (110). Als geeignete Dünger werden in diesem Zusammenhang Stallmist, Kleintiermist, Jauche, Gülle, Unkraut, Gründüngung, Komposte, organische Handelsdünger, Algendünger und Stadtkomposte genannt (110).

Als Fruchtbarkeitsreserve des Bodens, als „*Alte Kraft*“, wird von Rusch die sogenannte „*plasmatische Gare oder makromolekulare Gare*“ bezeichnet. Hier seien die ty-

pischen und sichtbaren Mikrobenzellen der Zellgare ebenfalls abgebaut und in Makromoleküle und subzelluläre Substanzen zerlegt. Die plasmatische Gare sähe „aus wie lockere feinkrümelige Erde,... und ist mit einer guten Lupe als lufthaltiges, feinspaltiges und feinporiges System erkennbar“ (112). Die Partikel bänden sich an die mineralischen Bodenbestandteile, hätten eine hohe kolloidale Kraft und ein hohes Wasser- und Ionen-Speichervermögen (119). Humus definiert Rusch wie folgt: „Es entsteht einen Primitiv-Form lebenden Gewebes, eine Urform aus einer Kongregation mineralischer, organischer und lebendiger Substanz ... Das allein sollte man Humus nennen... ein Gewebe in dem die Pflanze lebt“ (112). Rusch merkt an, dass die Pflanzennahrung nicht nur aus der plasmatischen Gare komme, sondern auch schon aus der zellulären Gare von der Pflanze aufgenommen werden könne (115). Weiterhin hebt er die bedeutende Rolle der Bodengare für die Wasser- und Luftkapazität von Böden hervor und schließt, wie auch bei der Nährstofffreisetzung (116) mit der Feststellung, „dass mit allen anderen biologischen Funktionen auch der Wasserhaushalt nur dann optimal funktioniert, wenn wir uns jeden künstlichen Eingriffs in den Bodenstoffwechsel enthalten“ (123).

1.3 Die Bestimmung der Bodenfruchtbarkeit nach Rusch

Rusch fordert für die Bestimmung der biologischen Wertigkeit von Böden einen Test, der anhand von Lebensvorgängen, die im Rahmen eines intakten biologischen Substanzkreislaufs ablaufen und anhand eines leicht greifbaren Materials in kurzer Zeit ohne großen Aufwand ein zutreffendes Ergebnis liefern kann (127). Er hält die klassifizierende Bodenmikrobiologie für zu vielfältig (128, 129) und favorisiert mikrobielle Zellen als Summenparameter zur Beurteilung der Fruchtbarkeit von Böden (133) „Allerdings entsteht nur dort Fruchtbarkeit, wo im Verlaufe der aktiven Bodenperioden ein- oder mehrere Male hohe Zellzahlen aufgetreten sind“ (136). Für die Praktikabilität eines Bodentests müsse „...die direkte Zellzählung ... so gestaltet werden, dass sie unabhängig von Bedingungen, die nur temporär vorhanden sind, unabhängig besonders von der Jahreszeit ist“ (136).

In seinen Untersuchungen konnte Rusch durch Bebrütung Wachstumsbedingungen herstellen, die zu konstanten Zählergebnissen bei den Bodenmikroben führten (136). „Im Prinzip benutzt man ... die Bodenprobe als bakteriologischen Nährboden ohne besondere Zusätze ... und erhält so ein relatives Vergleichsmaß für diejenige Masse an organischer und mineralischer Substanz, die unter Wachstumsbedingungen für die spontan vorhandenen Mikroben-Gesellschaft umsetzbar ist“ (136).

Für die Bewertung der biologischen Qualität der Böden schlägt er Verfahren vor, die die „zelluläre Gare“ und die

„plasmatische Gare“ in Zahlen fassen (Tabelle 1). Weiterhin führt er ein Verfahren ein, mit dem die biologische Qualität des umsetzbaren Materials durch Zählungen der bei Bebrütung entstehenden unterschiedlichen Bakteriengruppen eingestuft wird (Tabelle 2).

Tabelle 1:

Der Rusch-Test: Bestimmung der Zellzahlen (Rusch, 1964)

Bestimmung der Zellzahl ① (138) (zelluläre Gare)

„Sie stellt ein Maß für den Umfang der zellulären Gare dar und daher auch ein Maß für vorausgegangene organische Düngungen... sie... zeigt an welches Maß die Fruchtbarkeit in 1 oder 2 Jahren erreichen wird“ (140).

Methode: 10 g Boden (20 g Kompost) in 50 ml (100 ml) physiologischer Kochsalzlösung schütteln, und bei 27 °C bebrüten. Anschließend erneut schütteln und nur 1 bis 2 ml filtrieren (Papierfilter Nr. 588). Bei 6-facher Vergrößerung (Objektiv 45:1) mikroskopieren. Zellzahlen in Thomakammern auszählen. Wenn der Wert > 25 ist 1:10 verdünnen, sonst ungenaue Zählung.

Bestimmung der Zellzahl ② (156) (Plasmagare)

Sie ist nach Rusch „tatsächlich Ausdruck und Maß der Bodenfruchtbarkeit“ (156)

Die plasmatische Gare wird von Rusch wie folgt charakterisiert:

„...beim totalen Abbau der organischen Bodennahrungen (entstehen) drei unterschiedliche Stoffgruppen:

1. Mikromolekulare Stoffe (Nährstoffe: An- und Kationen, Wirkstoffe – Vitamine, Hormone, Enzyme und andere –, Eiweißbausteine, Wasser, Gase),
2. Huminstoffe (umgeordnete, unverdauliche Makromolekularsubstanzen, ähnlich den Farbstoffen, die andere Organismen abscheiden),
3. Makromolekulare Stoffe (verdauliche und spezifische lebendige Bodensubstanz)

Diese drei Stoffgruppen, die alle aus dem biologischen Substanzkreislauf stammen, bilden zusammen mit dem örtlich gegebenen Mineral in seinen bodenbildenden Formen die plasmatische Gare aus.“

Die Zellzahl ② enthält auch die Werte der Zellzahl ① (157) und ist damit stets höher.

Methode: Aufschluss wie in ① + 0,1 g (1 g) Laktose-Dextrose-Mischung 48 h bei 27 °C bebrüten, filtrieren und auszählen.

Tabelle 2:

Rusch-Test: Die Bestimmung der biologischen Qualität (Rusch, 1964)

Die Bestimmung der biologischen Qualität (Technik ③ und ④) (189)	
Methode: Suspension aus ① (= Technik ③) links und ② (= Technik ④) rechts und auf ENDO-Agar (Fuchsin-Laktose-Agar) bei 27 °C für 48 h bebrüten.	
Kolonien in drei Gruppen teilen:	
Gruppe I:	Kolonien mit gutem Fuchsinglanz
Gruppe II:	dunkelrote Kolonien
Gruppe III:	rosafarbene, Schleim bildende oder schwarze Kolonien und alle anderen
Die Verteilung der Kolonien wird in % angegeben und links der Wert aus Suspension ③ rechts der aus ④ aufgeschrieben.	
Die Kolonien aus ③ und ④ werden auf Objektträger aufgebracht, mit Methylenblau angefärbt und mit Ölimmersion unter dem Mikroskop nach ihrem Zersetzungsgrad wie folgt differenziert:	
Gruppe I:	normalerweise nur kräftige Kurzstäbchen, wenn stark gequollen, granuliert oder sehr klein in Gruppe II
Gruppe II:	vorwiegend leidlich gut ausgebildete Zellen, wenn merkliche Anteile ausgebildete Zellen dort sind, in Gruppe I sortieren
Gruppe III:	schlecht ausgebildete Zellen
Daraus errechnet Rusch einen biologischen Index zur Bewertung der biologischen Qualität:	
$\frac{(\% \text{ ③} + \% \text{ ④ der Gruppe I}) \times 3 + (\% \text{ ③} + \% \text{ ④ der Gruppe II})}{(\% \text{ ③} + \% \text{ ④ der Gruppe III})}$	
Liegt der Wert über 5 spricht Rusch von Böden mit hochwertiger biologischer Qualität.	

Zusammengestellt geben die vier ermittelten Werte nach Rusch ein Maß zur Beurteilung der Bodenfruchtbarkeit. Ein Beispiel der mehrfachen Analyse von Blindproben zweier Böden ist nachfolgend dargestellt (192) (Tabelle 3).

Tabelle 3:

Ergebnisse mehrfacher Analyse zweier Böden mit dem Rusch-Test (Rusch, 1964)

Substrat	Test Nr.	Zellzahlen nach ① / ②	Bakterienflora nach						Biolog. Index
			③			④			
Gruppe			I	II	III	I	II	III	
Boden 1	1.	9/34	10	40	50	40	40	20	9,4
	2.	14/37	05	30	65	50	50	00	10,7
	3.	8/46	10	50	40	40	30	30	7,0
	4.	10/31	10	50	40	40	40	20	10,0
Boden 2	1.	45/130	00	10	90	00	30	70	0,5
	2.	46/136	00	10	90	00	20	80	0,3
	3.	42/130	00	20	80	00	00	100	0,2
	4.	46/124	00	10	90	00	20	80	0,3

Die Auswertung der Zellzahlen erfolgte von Rusch anhand empirischer Erfahrungen (161) (Tabelle 4).

Tabelle 4:

Der Rusch-Test: Richtwerte für die Auswertung der Zellzahlen in Böden und organischen Düngern (Rusch, 1964)

	Zellzahlen (zellulare Gare)	Zellzahlen (Plasmagare)
Mutterböden		
Unfruchtbare	3 - 9	unter 30
Wenig fruchtbare	10 - 15	30 - 45
Mäßig fruchtbare	15 - 25	45 - 75
Gut fruchtbare	25 - 35	75 - 100
Sehr gut fruchtbare	über 35	über 100
Komposte, organische Dünger		
Unbrauchbare	unter 30	unter 100
Wenig brauchbare	30 - 50	100 - 200
Bedingt brauchbare	50 - 100	200 - 500
Mittelgute	100 - 200	500 - 2000
Gute und sehr gute	über 200	über 2000

Nach Rusch sind diese Zahlen wie folgt zu interpretieren: „Nähern sich die Zahlen ① und ② deutlich, so haben wir es mit einem relativ frisch gedüngten, bisher oder in den letzten beiden Jahren wenig gedüngten Böden zu tun, und je näher die beiden Zahlen stehen, desto eher besteht die Gefahr, dass Pflanzenschäden in irgendeiner Form auftreten....wir haben es dann mit viel Zellgare aber verhältnismäßig wenig Plasmagare zu tun (160). ... Für organische Dünger gilt, dass sie umso besser sind, je größer der Unterschied zwischen der Zellzahl ① und ② ist, denn dann sind sie hochwertig und unschädlich zugleich.“

1.4 Ruschs Systematisierung des Abbaus organischer Substanz im Boden

Rusch demonstriert den Ablauf der biologischen Degradation organischen Materials im Boden mit Hilfe eines „Grundversuches“ (144):

Hierbei wird auf eine ebene natürliche Bodenfläche, bei der die Krume entfernt wurde, 30 bis 50 cm Erde mittlerer Güte mit weniger als 10 Zellen nach Technik ① geschichtet. Dies wird mit 3 bis 5 cm organischem Material aus pflanzlichen und tierischen Düngern bedeckt. Die Oberfläche wird von Pflanzenwachstum freigehalten. Während der 2 bis 3 jährigen Versuchsdauer kommt es zu einem typischen Ablauf der Zersetzung (145) (Tabelle 5).

Tabelle 5:

Bodenschichtung beim Grundversuch nach Rusch (111, 145)

1. Die Oberfläche der organischen Decke bleibt erhalten, nur feine Partikel werden tiefer geschwemmt, es kommt nicht zu nennenswerten Koloniebildungen von Mikroben.
2. Unter der Deckschicht bildet sich eine biologisch aktive Rotteschicht aus, die mikrobielle Verbauung reicht nach einiger Zeit tief in die darunterliegende mineralische zellarme Schicht hinein.
3. Die entstandene Schicht der mikrobiellen Zellgare besteht aus Teilen der organischen Auflage und der darunterliegenden Schicht und weist Krümel und Hohlräume auf. Nach 3 bis 12 Monaten zerfällt die Struktur zunehmend. Die Zellgare ist aufgrund des Kohlenhydratabbaus abgeschlossen.
4. In den ersten Wochen des Versuches ist die Plasmagare (Zellzahl ②) noch nicht mikroskopisch sichtbar. Das Zerfallsprodukt der Zellgare verteilt sich nach 2 bis 3 Versuchsjahren über die gesamte Erdauflage zum Teil bis tief in die Erdunterlage. Es entstehen zellarme feinstrukturierte, äußerst sorptionsfähige, feinkrümelige, nicht ausschwemmbar Systeme.

Rusch postuliert, dass die Zellzahl ① in der Erdauflage des Grundversuchs bei diesem Versuch kontinuierlich abnimmt und die Zellzahl ② sich nach analoger Abnahme zur Zellzahl ① auf einem stabilem hohen Niveau einpendle (140, 159).

1.5 Eigenschaften der Zellgare, der plasmatischen Gare und die biologische Qualität

Rusch fand in Keimversuchen (140, 141), dass die Region der „Zellgare“ für die Kulturpflanze unzutraglich ist und daher eine übertriebene Zellgare, wie das stoßartige Einbringen unzersetzter organischer Substanz in die Tiefe der Krume und unnötige, tiefe Bodenbearbeitung, streng zu vermeiden seien. Andernfalls sei die Pflanze gezwungen mit der „Zellgare“ in Beziehung zu treten was auf jeden Fall folgenschwere Pflanzenschädigungen nach sich ziehen würde (143, 147). Jedoch relativiert er, dass sich „die Beziehung der Pflanze zur zellulären Gare ... im allgemeinen auf gewöhnlichen Acker-, Wiesen- und Gartenböden nicht darstellen lässt. Die Zellgareschicht ist hier nur ausnahmsweise und ganz vorübergehend stark genug und deutlich ausgebildet... Bei fortlaufend organischer Bodenernährung gehen die einzelnen Vorgänge ... so sehr ineinander über, dass sich die Beziehung zur Pflanze, das heißt ihres Wurzelsystems zur Zellgare nicht studieren lässt (146). Zur „plasmatischen Gare“ führt Rusch an, dass Fruchtbarkeit erst dann im Boden entsteht, wenn die „zelluläre Gare“ abgeschlossen sei und ihre Substanzen in die „plasmatische, makromolekulare Phase“ übergegangen seien. Demnach lässt sich die Bodenfruchtbarkeit nur in der kolloidalen makromolekularen Stufe des biologischen Substanzkreislaufs messen; nicht die in einer Probe enthaltenen Mikrobienzellen zeigen sie an, sondern die in ihr enthaltenen Makromoleküle... (149).

Nachweis und Quantifizierung der makromolekularen Verbindungen mit Färbe- oder mittels optischer Methoden (Tyndall-Effekt) (Tyndall, 1872) gelangen ihm aufgrund unterschiedlicher Bodeneigenschaften und Färbungen nicht systematisch (150). Rusch vermutete Kohlenhydratausscheidungen der Wurzeln, die Bakterienwachstum auch in der Plasmaschicht ermöglichen würden und damit zur Ausbildung der Rhizosphärenflora aus Milchsäurebakterien führen (150) und stellt diesen Mechanismus in der Technik zur Bestimmung der Zellzahl ② durch die Zugabe von Milchzucker nach (153). Milchsäurebakterien beschreibt Rusch (1970) als Bakterien, die Milchsäure bilden. Milchzucker sei besonders charakteristisch für Bakterien, die bei Pflanzen, Tieren und Menschen leben. Bakteriensymbiosen bei Mensch und Tier dienen ihm als Beweis für positive Wirkungen der so charakterisierten Bakteriengruppe im Boden (Rusch, 1970). Rusch betont jedoch, dass es keine absolute Relation von den Erträgen zu den Zellzahlen gäbe, weil der Ertrag auch von anderen Wachstumsbedingungen wie z. B. der biologischen Qualität sowie geographischen, klimatischen sowie bodenchemischen und -physikalischen Bedingungen abhängt (162).

1.6 Flächenkompostierung und organische Düngung

Die Vorzüglichkeit einer Flächenkompostierung belegt Rusch anhand von Experimenten zur Zellzahlentwicklung in Böden bei Stallmistausbringung (frischer Stallmist eingepflügt – kompostierter Stallmist eingepflügt – frischer Stallmist flach eingebracht). Rusch schloss, dass nur die Flächenkompostierung in der Lage sei, die volle biologische Potenzübertragung von organischen Düngern auf den Mutterboden zu gewährleisten. Dies folge dem Vorbild der Natur, die nur Flächenkompostierung kenne. Eingepflügter kompostierter Stallmist sei zwar pflanzenverträglich, wirke sich aber weniger förderlich auf die plasmatische Gare aus (166, 167). Betriebsdünger sollten daher frisch und oberflächlich und ganzjährig ausgebracht werden (167). Laub wirke als Bodenbedeckung wachstumshemmend (168). Weitere Hintergründe zur Flächenkompostierung finden sich in anderen Arbeiten Ruschs. In seiner Schrift von 1970 fasst Rusch diesen Zusammenhang und die Bedeutung seines Grundversuchs (Tabelle 5) zusammen: Die früher übliche langjährige Kompostierung organischen Materials bis zur Vererdung führe zwar zu guter mikrobiologischer Qualität „wogegen die im Ausgangsmaterial steckenden Wachstumsenergien bis auf Reste verschwendet wurde“. Diese Erkenntnis hätte in den von ihm begleiteten Betrieben zu einem Verschwinden der Stapelmistwirtschaft und zu erheblichen Steigerungen der Erträge geführt. Aus der im Grundversuch ermittelten „funktionell streng voneinander getrennten Schichtung der Humusbildung“ folgert Rusch, dass nur

eine flache Bodenbearbeitung zulässig ist, um die Schichtung und die Humusbildung im Boden nicht zu zerstören, aber auch die Ausbildung des Feinwurzelsystems der Kulturpflanzen nicht zu behindern. In einem Vortrag schlägt Rusch 1952 aufgrund der von ihm gefundenen „Kümmern von Pflanzen“ die in „Faulungserde“ wachsen, eine „abgekürzte Kompostierung“ als Vorbehandlung vor. Der für eine vollständige Kompostierung bis zur Krümelbildung benötigte Zeitraum von zwei Jahren sei für landwirtschaftliche Betriebe zu lang. Nur der 4 bis 12-wöchige „Faulungsprozess“ von „wirtschaftseigenen Abfallstoffen“ solle daher in Kompostmieten durchgeführt, das Material dann oberirdisch aufgebracht und nicht in den Boden eingearbeitet werden. Für landwirtschaftliche Betriebe schlägt Rusch dafür 50 cm hohe Kompostmieten vor. Das Material darin soll 50 % Wassergehalt haben und durch Drainagen unter den Mieten belüftet werden. Kalt gefaultes Material aus solchen Mieten sei biologisch nicht unterschiedlich zu heiß gefaultem aus „industriellen Kompostierungsanlagen“ (Rusch, 1955).

Auf leichten Böden zeigen Ruschs Messungen, dass die „plasmatische Gare“ (Zellzahl ☉) bei organischer Düngung relativ niedrig bleibt, die „zellulare Gare“ (Zellzahl ☪) jedoch hoch. Organische Dünger sollten daher auf solchen Böden mehrfach in kleinen Gaben verabreicht werden. Ist auch die Zellzahl ☪ gering liegt eine geringe Bodenfruchtbarkeit vor (169). Auf schweren Böden ist der Anstieg der Zellzahlen mit mäßig fortlaufender Bodenernährung allmählich konstant ansteigend zu erreichen. Es werden deutlich höhere Zellzahlen ☉ erreicht. Die Zellzahl ☪ ist auf schweren Böden nicht höher als auf leichten (170).

Für die Bestimmung der biologischen Qualität von Böden wurde von Rusch die aerobe Stäbchenflora herangezogen, die, so Rusch, „gegenüber bakteriostatischen Hemmstoffeinwirkungen die bei weitem empfindlichste Flora ist“ (187). Er stellt fest, „dass Böden, die sich anhand anderer Zeichen als gesund erweisen und deren Produkte zum Beispiel keine Mangelerscheinungen haben, höheren Anteil an Zellen der Gruppen I und II als der Gruppe III haben“ (193) (Tabelle 2). Anzeichen für Gifte in Böden sind nach Rusch an irregulärer Koloniebildung und irregulären Kolonieförmigkeiten erkennbar (201). Hemmstoffwirkungen, z. B. durch tief eingearbeitete, unzersetzte organische Massen, sind am insgesamt geringeren Mikrowachstum deutlich (198, 203). Ein weiteres Qualitätskriterium ist für Rusch die Zahl der Regenwürmer als Indikator für ausreichende organische Bodenernährung (205 bis 206). So seien in fruchtbaren Böden höhere Abundanzen anzutreffen als in weniger fruchtbaren.

1.7 Ruschs Schlussfolgerungen für die Bodenbewirtschaftung

In den abschließenden Richtlinien für die Humuswirtschaft (215) hebt Rusch noch einmal praktische Erfordernisse hervor. „Bei der Bodenbearbeitung ist es grundsätzlich geboten, jede irgendwie entbehrliche Bodenarbeit zu vermeiden“ um die für die Humusbildung wichtige Schichtung aus Bodendecke, Zell- und Plasmagare nicht zu stören. Eine oberflächliche Bodenbearbeitung z. B. zur Saat wird als verhältnismäßig unschädlich bezeichnet, aber „auf der Höhe des Zellgare, in den wärmsten Monaten, sollte der Boden möglichst in Ruhe gelassen werden“ (214, 215). Wo immer es möglich sei müsse eine leichte, natürliche Bedeckung des Bodens angestrebt werden (217). „Für die optimale organische Düngung soll der Dünger nach seinem natürlichen Anfall sobald und so frisch wie möglich auf den Boden aufgebracht werden.“ Frischer organischer Dünger dürfe nicht in den Boden eingearbeitet werden solange die Zellzahl ☪ noch hoch ist (220). Rusch rechnet damit, dass man nach Einführung der Humuswirtschaft „durchschnittlich mit 3 bis 4 Jahren zu rechnen hat, bis ein misshandelter Bodenorganismus gesund wird“ (221).

Das Buch „Bodenfruchtbarkeit“ schließt mit Beispielen, wie die Entwicklung der Kennwerte Ruschs zur Bodenfruchtbarkeit mit steigenden Ertragsleistungen im Pflanzenbau und in der Tierproduktion einher gehen (231ff). Rusch fasst als Leitlinie für die Bodenbewirtschaftung unter anderem zusammen: „Im Mittelpunkt der Bemühung des ökologischen Landbaus steht die vollkommene Ernährung des Bodenorganismus und der Verzicht auf jeden Eingriff in die Beziehung Boden-Pflanze“ (235).

2 Verankerung der Erkenntnisse im biologischen Landbau heute

In den Bioland Richtlinien (Bioland e.V., 2007) wird bereits im Vorwort auf die organisch-biologische Landbaumethode nach Dr. Hans Müller und Dr. Hans Peter Rusch verwiesen und im Ergebnis eine Flächenkompostierung nach den Grundsätzen der von ihnen postulierten Humuswirtschaft empfohlen. Konsequenzen aus den Erkenntnissen Ruschs zur Flächenkompostierung und zum Aufbau des Humusgehaltes sind in den Richtlinien jedoch nicht zwingend verankert sondern in das Ermessen der Landwirte gestellt. Auch die von Rusch als natürlich angesehene Rückfuhr von Nährstoffen und organischer Substanz aus der Nahrungskette ist nicht Bestandteil der Richtlinien. In der Öko-Basisverordnung (EG) 834/2007 wird auf die Rezyklierung von Abfällen und pflanzlichen und tierischen Nebenprodukten aus lokal organisierten landwirtschaftlichen Systemen verwiesen, um den Anbauflächen die Nährstoffe wieder zuzuführen. Ein Rückfluss

aus dem Konsumentenbereich wird dort jedoch nicht explizit benannt. Aus Sicht der Nährstoffhaltung wird heute die Entwicklung von Techniken zur schadstoffarmen Rückfuhr von Nährstoffen und Humus auch aus diesem Bereich gefordert (Rahmann et al., 2009).

3 Diskussion

Im folgenden wird diskutiert, welche von Ruschs Thesen zur Humuswirtschaft heute noch Bedeutung haben und Anregungen zur Weiterentwicklung gegeben.

3.1 Ruschs Humuswirtschaft und die Nährstoffversorgung von Pflanzen im Ökologischen Landbau

Rusch hebt mit dem Tongehalt, der Kationenaustauschkapazität und der Austauschbelegung die wesentlichen, auch in der konventionellen Standortkunde anerkannten Fruchtbarkeitsparameter der mineralischen Bodensubstanz hervor (Scheffer und Schachtschabel, 2008). In den heutigen Standardbodenanalysen, die für landwirtschaftliche Betriebe durchgeführt werden, werden Daten zur Austauschbelegung jedoch nicht mehr erfasst. So stellt der Verzicht auf die Bestimmung des H-Wertes zur Ermittlung des Kalkbedarfes von Böden (VDLUFA, 2000), der ein indirektes Maß für die Kationenbelegung der Austauscher darstellte (Bundesanstalt für Geowissenschaften, 2005; Lecher et al., 2001) und die ausschließliche Bestimmung des pH-Wertes als Grundlage für die Kalkbedarfsbestimmung, einen Verlust von Details chemischer Bodeneigenschaften dar. Der pH-Wert stellt nur eine vereinfachte Form der Analyse der Austauscherbelegung dar. Hier wird unterstellt, dass H^+ Ionen die primären Konkurrenten der strukturfördernden zweiwertigen Ca- und Mg-Ionen sind. In Systemen mit erhöhtem Zufuhr an K-Ionen jedoch, wie z. B. Güllewirtschaft, können auch diese zweiwertige Kationen von den Austauschern verdrängen und so durch eine verstärkte Peptisierung der Bodenkolloide die Bodenstruktur nachteilig beeinflussen. Der Anteil von K-Ionen an der Austauschbelegung wird jedoch bei einer einfachen pH-Bestimmung nicht berücksichtigt. Eine bloße Bestimmung des pH-Wertes als Grundlage für die Bestimmung des Kalkbedarfes von Böden kann daher durchaus eine zu gering bemessene Kalkmenge zur Folge haben. Besonders Düngungssysteme die auf der Nachlieferung von Nährstoffen aus dem Boden basieren, wie im Ökologischen Landbau, sind auf die Kenntnis bodenchemischer Details angewiesen (Haneklaus et al., 2005; Balzer, 2000).

Ruschs These, dass unter normalen Umständen ohne künstliche Eingriffe der Tonkristallschwund verhindert wird, und „die Natur ein fließendes Gleichgewicht zwischen Ionenverbrauch und Ionenschonung, zwischen Tonkristallbildung und -Zerstörung“ aufrecht erhält wider-

spricht jedoch der Kenntnis um die langfristige Bodenentwicklung, in der es, wenn auch in sehr langen Zeiträumen, zu natürlicher Bodendegradation mit Tonauswaschung kommt (WBGU, 1993). Zweifellos verändert die Zufuhr von Mineraldüngern immer auch das Ionengleichgewicht im Boden. Hier wäre zu klären, ob Böden der Rusch'sen Humuswirtschaft tatsächlich weniger der regelmäßigen Kalkungen bedürfen und ob die von Rusch postulierte „natürliche“ pH-Regulierung nahe des Neutralpunktes und das spontane Aufrechterhalten der Ionengleichgewichte (99) sich nachhaltig einstellen. Einvernehmen herrscht darüber, dass durch Humusmehrung eine verbesserte Pufferkapazität gegenüber spontanen pH-Schwankungen auftritt, jedoch sinkt der pH durch den vermehrten Umsatz organischer Substanz (Godsey et al., 2007; Astier et al., 2006). Weiterhin wird berichtet, dass höhere Leguminosenanteile in der Fruchtfolge den pH-Wert des Bodens absenken (Kirchmann et al., 2007). Ruschs sehr positive These zur Stabilisierung der Boden pH-Werte bei Humuswirtschaft wird durch diese Ergebnisse deutlich in Frage gestellt und es kann keinesfalls auf regelmäßige Bodenanalysen und Kalkungen verzichtet werden. In Studien zur pH-Entwicklung bei unterschiedlicher Düngung wurden meist höhere pH-Werte der Böden mit Stallmist- oder Kompostdüngung gefunden, da die pH-Werte der Ausgangsmaterialien bereits hoch waren (Fliessbach et al., 2007; Steinwender et al., 2000; Richter et al., 1997; Alföldi et al., 1993). Die von Rusch benannte K-Sperre im Boden durch stabilen Einbau der K-Ionen in Schichtsilikate bei Säureüberschuss (97) und eine P-Sperre bei Einarbeiten P-armen Materials (98) sind in der Literatur belegt (Scheffer und Schachtschabel, 2008).

Interessant ist Ruschs These, dass organisch gebundenes P die maßgebliche Quelle für die P-Ernährung der Pflanzen darstelle und ein Gleichgewicht zwischen Ca-Phosphaten und organisch gebundenem P bestehe (98). P sei im biologischen Substanzkreislauf reichlich vorhanden und anorganische Bodenreserven brauchen in der Humuswirtschaft kaum angegriffen zu werden, da das organisch gebundene P ausreiche die Pflanzen zu ernähren. In der Tat erscheint in der traditionellen Düngerlehre die Bedeutung organisch gebundener P-Fractionen zur P-Ernährung der Pflanzen kaum gewürdigt. Alle gebräuchlichen Methoden der Bodenuntersuchung auf pflanzenverfügbares P beziehen sich ausschließlich auf anorganische P-Fractionen obgleich lange bekannt ist, dass etwa die Hälfte des gesamten Bodenvorrats an P organisch gebunden ist. Historisch erklärt sich dieser Mangel aus der Dominanz primär produktorientierter Forschung zu P-Düngern.

Auch bei anderen Nährstoffen reiche nach Rusch die natürliche Mobilisierung aus um den Bedarf der Pflanzen zu decken. Koinzidenz bestehe zwischen der natürlichen Bodenerwärmung, der Nährstoffmobilisierung und dem

Beginn des Pflanzenwachstums (73). Zu diesen Thesen Ruschs besteht Klärungsbedarf hinsichtlich zeitgerechter Nährstoffverfügbarkeit (David et al., 2004) und der Ausgeglichenheit der Nährstoffbilanzen (Loes und Ogaard, 2001; Lindenthal, 2000). Die Rolle der weitgehenden Nährstoffmobilisierung aus der organischen Substanz, der stabilen Fließgleichgewichte im Boden und die These des Aufrechterhaltens der Bodenfruchtbarkeit durch Humuswirtschaft unter dem Aspekt der Verwendung ausschließlich betriebseigener Stoffe sollten anhand umfassender Bilanzstudien in ökologischen Betrieben untersucht werden, insbesondere um der Gefahr eines „nutrient mining“ und daraus folgendem Verlust an Bodenfruchtbarkeit rechtzeitig begegnen zu können (Nelson und Janke, 2007; Watson et al., 2002). Hierzu gehört auch die eingehende Betrachtung der Kalkbilanz bzw. die Entwicklung der pH-Werte derart bewirtschafteter Böden.

Denn im Gegensatz zu Ruschs euphorischer Formulierung zum P-Gleichgewicht bei Humuswirtschaft zeigen historische Betrachtungen von Anbausystemen nach Umbruch nativer Böden, dass Nährstoffmangelsymptome durch Humusabbau lange verdeckt werden können (z. B. Prärieumbruch), dass aber keinesfalls ein Gleichgewicht entsteht und dass in über lange Zeit produktive historische Agrarsysteme Nährstoffe stets nachgeliefert wurden (z. B. Nildelta) (Newman, 1997). Bereits Liebig forderte trotz seiner Erkenntnisse zur mineralischen Düngung einen Nährstoffrückfluss auf die landwirtschaftlichen Betriebe mit den Worten: *„Es giebt ein Recept für die Fruchtbarkeit unserer Felder, und für die ewige Dauer ihrer Erträge..: Ein jeder Landwirth, der einen Sack Getreide nach der Stadt fährt, oder einen Centner Reys, oder Rüben, Kartoffeln etc., sollte eben so viel (wo möglich mehr) von den Bodenbestandteilen seiner Feldfrüchte wieder aus der Stadt mitnehmen, und dem Feld geben, dem er sie entnommen hat“* (Liebig, 1878). Die von Rusch im Sinne Liebigs geforderte Zufuhr von externen Materialien (Humusstoffen) und den darin enthaltenen Nährstoffen in die Landwirtschaft sollte daher als wesentlicher Bestandteil der Humuswirtschaft nicht vergessen werden. In diese Richtung weisen z. B. auch Ergebnisse des Schweizer DOK-Versuches (Anbauvergleich Biologisch-Dynamisch, Biologisch-Organisch, Konventionell) in dem Anbausysteme mit organischer Düngung massive Ertragsvorteile gegenüber Systemen ohne Nährstoffzufuhr aufweisen (Fliessbach et al., 2003). Die Verwendung von Klärschlamm und Komposten aus Haushalten ist jedoch im Ökologischen Landbau nicht zulässig, da sie mit unerwünschten Stoffen kontaminiert sein können (Kratz und Schnug, 2005). Die Extraktion der darin enthaltenen Nährstoffe wird jedoch diskutiert (Adam et al., 2008; Gethke et al., 2008).

Auch bei reiner Humuswirtschaft müssen sich Landwirte daher einen Überblick über die Nährstoffbilanzen ihres

Betriebes verschaffen und ggf. Veränderungen durch geeignete Dünger oder Umstellungen der Fruchtfolge vornehmen. Nur so können langfristig Nährstoffmangelsituationen insbesondere bei P und K (Römer, 2006; Quintern et al., 2006a; Römer und Lehne, 2004a; Römer und Lehne, 2004b) vermieden werden. Wegen der systembedingten Beschränkung in der Wahl der Mittel zur Ergänzung von Nährstoffverlusten ist ein umfangreiches und ständiges Monitoring von Merkmalen der Bodenfruchtbarkeit in ökologisch wirtschaftenden Betrieben unabdingbarer Bestandteil der guten fachlichen Praxis.

Zu den Verfahren der Bodenanalyse ist anzumerken, dass die heute angewandten Nährstoffgrenzwerte für Böden aus gedüngten Hohertragssystemen entwickelt worden sind. Es ist unklar, welche Relevanz Standard-Bodengrenzwerte tatsächlich für das niedrigere Produktionsniveau und die andere Nährstoffdynamik von Böden im Ökologischen Landbau haben (Askegaard et al., 2003; Askegaard und Eriksen, 2002; Raupp, 2001; Balzer und Balzer-Graf, 1984). Zum Beispiel wird folgerichtig für die ökologische Bewirtschaftung auch ein höherer optimaler Humusgehalt im Boden gefordert, da dieses Landbausystem mehr auf die Nachlieferung aus der organischen Fraktion angewiesen ist als konventionelle Systeme (Küstermann et al., 2008; Leithold, 2006). Durch die Bewirtschaftung mit Fruchtfolgen mit hoher Biodiversität weisen ökologisch bewirtschaftete Böden auch bessere Voraussetzungen für eine nachhaltige Humusanreicherung auf (Rahmann et al., 2008; Lal, 2004). Die Rusch'e Humuswirtschaft wirkt durch die Forderungen zur Bodenbedeckung und zur Bodenbearbeitung in umsatzschwachen Jahreszeiten und zur organischen Düngung in die gleiche Richtung. So hebt Rusch die Bedeutung des Humus für den Wasser- und Lufthaushalt des Bodens und für die Nährstoffnachlieferung und Nährstoffbindung zu Recht hervor. Jedoch fehlen in seinen Ausführungen konsequente Ansätze zur Nährstoffbilanzierung und gezielten Nährstoffergänzung. Für ein weiter ansteigendes Ertragsniveau im Ökologischen Landbau sind diese jedoch unabdingbar.

3.2 Verifizierung des Rusch-Tests

Ruschs Theorie zum *„Kreislauf der lebenden Substanz“* ist sehr kritisch einzustufen. Rusch wollte sich eindeutig von der Mineralstofftheorie Liebigs und der Mineraldüngung abgrenzen. Er verwies 1949 auf klinische Erfolge bei der Humantherapie mit Bakteriensuspensionen (Rusch, 1955) und implizierte aus den Erkenntnissen zu DNS und viraler Erbgutübertragung, dass nicht näher von ihm beschriebene *„Lebenssubstanzen“* aus dem Humus durch die Pflanzen in großem Umfang aufgenommen werden und das Pflanzenwachstum maßgeblich bestimmen. Humus ist für ihn *„Primitivform des lebenden Gewebes“*

(112) und wird gleichgestellt mit etwas aktiv Fruchtbarem (118). Das ist sicher nicht so. Die Humustheorie von Albrecht Thaer (1811), die fälschlich auf einer weitgehenden Aufnahme des pflanzlichen Kohlenstoffs aus dem Humus basiert (Feller et al., 2003) nennt er nicht. Rusch glaubt jedoch, dass Abbauprodukte mehr oder weniger direkt aus dem Humus in den pflanzlichen Stoffwechsel gelangen, dort eingebaut oder integriert werden bzw. in großem Umfang direkte Wirkungen haben. Dies ist nach der auch heute noch gültigen Mineralstofftheorie Liebig's falsch. Die Aufnahme von makromolekularen Stoffen durch Pflanzen ist zwar unumstritten, jedoch werden die aufgenommenen Moleküle, z. B. Aminosäuren, als Nährstoffquelle gesehen oder sind Wirkstoffe mit indirekten Wirkungen. Zahlreiche Studien existieren zur Aufnahme von N aus organischen Verbindungen durch Pflanzen (Svennerstam et al., 2008; Biernath et al., 2008; Syltie, 2002; Falkengren-Grerup et al., 2000; Mozafar und Oertli, 1992; Nishizawa und Mori, 1977) oder zu aufgenommenen DNS als P-Quelle (Doshkarova, 1966) für Pflanzen. Aus Wirtschaftsdünger kann offensichtlich Vitamin B12 über die Wurzel in die Pflanze gelangen und so die Nahrungsmittelqualität verbessern (Mozafar und Oertli, 1992). Ebenso wird aber auch die Aufnahme von organischen Schadstoffen durch Pflanzen untersucht (Redshaw et al., 2008; Schroder et al., 2001; Polder et al., 1995). Zudem adressiert die Forschung heute die chemisch-biologischen Wirkungen von Verbindungen im Boden und im Humus auf die Pflanzen. Zum Beispiel wird die Wirkung der Applikation von Huminsäuren, die aus Abfällen, Böden oder Torf gewonnen wurden, untersucht, wobei eine verbesserte N- und P-Aufnahme in Gerste (Ayuso et al., 1996) und ein verbessertes Wachstum durch die C-Zufuhr bei Raygras (Ortega und Fernandez, 2007) gemessen wurden. Weiterhin nehmen Huminsäuren Einfluss auf die Genexpression in den Wurzelzellen, die Eisenaufnahme durch die Proliferation chelatierender Stoffe (Elena et al., 2009) oder auf die Proteinbildung (Carletti et al., 2008). Zudem haben verschiedene Huminstofffraktionen unterschiedliche Wirkungen auf die Phosphorversorgung von Tabak-Zellen (Zancani et al., 2009). Bei einer Blattspritzung von Huminsäure auf Wein wurden erhöhte Chlorophyllgehalte und verminderte Säuregehalte gemessen sowie größere Trauben geerntet (Ferrara und Brunetti, 2008).

Richtig ist die von Rusch hervorgehobene Rolle der Bakterien im Boden zum Beispiel für die N-Bindung aus der Luft. Aber auch über Wirkungen gasförmiger, von Bakterien entlassenen Verbindungen auf qualitative Eigenschaften von Pflanzen wird heute berichtet (Banchio et al., 2009). Ebenso ist die symbiontische Leistung der Mycorrhiza z. B. bei der Phosphoraufnahme bekannt (Burleigh und Bechmann, 2002). Jedoch sind die potentiell nutzbaren Zusammenhänge bisher nicht zu in landwirtschaft-

licher Praxis anwendbaren Techniken geworden, da die Wirkung von vielen Umweltbedingungen abhängt (Raupp et al., 2009; Toljander et al., 2008; Aryal et al., 2006; Ryan und Graham, 2002). Auch die Wirkung der sogenannten Effektiven Mikroorganismen (EM) die zur Bodenverbesserung ausgebracht werden ist höchst umstritten (Mayer et al., 2008). Einvernehmen herrscht allerdings darüber, dass Humusbildung, organische Düngung und Ökologischer Landbau die pilzliche und bakterielle Besiedlung im Boden fördern und dass unter Nährstoffmangelbedingungen die biologische Nährstoffmobilisierung höher ist (Quintern et al., 2006b; Mäder et al., 2005; Gollner, 2003).

Die Rusch'en Tests auf Zellzahlen (Tabellen 1 und 2) erscheinen aufgrund der heutzutage exakt messbaren Summenparameter mikrobieller Aktivität und der Möglichkeiten der Identifikation einzelner Bodenorganismen mittels DNA-Analyse veraltet. Eine Übersicht über zur Verfügung stehende Methoden zur quantitativen Erfassung von Bodenmikroben geben (Römbke et al., 1997). Kurz genannt werden folgende: Keimtest (Plattengussverfahren), direkte Beobachtung (Mikroskopie), Chloroform Fumigation Inkubation (CFI), Chloroform Fumigation Extraktion (CFE), Substrat-induzierte Respiration (SIR), Adenosintriphosphat (ATP), Enzymaktivität, Kalorimetrie und Bodenatmung. Die von Rusch angewandten Verfahren Plattengussverfahren und Mikroskopie verlangen als optische Methoden eine große Erfahrung des Laborpersonals. Zu diesem Punkt wird berichtet, dass die Methoden sich nicht durchsetzten, da nach dem Ausscheiden von Ruschs qualifizierter Assistentin keine Person mehr über ausreichendes Know-how verfügte und die Methode daher nicht mehr weiter verfolgt wurde (Hoffmann, 2004). In der Literatur finden sich auch keine verifizierenden Analysen zu Ruschs Techniken von Dritten. Die von Rusch für die Bestimmung der plasmatischen Gare eingesetzte Technik zur Bestimmung der Zellzahl \odot unter Zusatz von Kohlenhydraten (bei Rusch: Laktose-Dextrose-Mischung) mit anschließendem Auszählen ist heute durch die Substrat-Induzierte-Respiration (SIR) ersetzt. Hier wird der CO_2 -Ausstoß nach Zusatz eines Nährsubstrates gemessen. Bei dieser Methode können aus dem Kurvenverlauf zusätzlich noch Rückschlüsse auf die Aktivität der Bodenmikroben gezogen werden. Insgesamt sind die heutigen Verfahren leichter zu standardisieren und liefern exakte Messwerte. Zur Einstufung mikrobieller Bodenaktivität werden weiterhin z. B. der Gehalt an mikrobiellem Kohlenstoff (C_{mik}) (Jørgensen, 1995; Vance et al., 1987) sowie die Basalatmung bestimmt. Die Lebensbedingungen für die Mikroorganismen im Boden werden durch den mikrobiellen P- und N-Gehalt weiter charakterisiert (Brookes et al., 1985; Brookes et al., 1982). Der Ergosterolgehalt (Djajakirana et al., 1996) kennzeichnet den Gehalt an pilzlicher Biomasse.

Der Forschungsstand zur Bestimmung der Leistung der

mikrobiellen Populationen beschreiben Römbke et al. (1997) wie folgt:

„Ein methodischer Ansatz, der zunehmend Beachtung findet, ist die Bestimmung der spezifischen Leistung einer mikrobiellen Population. Dazu werden die mikrobielle Biomasse und eine Stoffwechselaktivität (z. B. die Respiration) in Beziehung zueinander gesetzt. Der Quotient aus Biomasse und Respiration, in der Literatur häufig als „metabolischer Quotient“ oder „spezifische Atmung“ angegeben, wird zur mikrobiellen Charakterisierung eingesetzt. Damit konnten, unabhängig von Bodeneigenschaften, Unterschiede zwischen Bewirtschaftungsformen in der Land- und Forstwirtschaft (Pietikainen und Fritze, 1995; Anderson und Domsch, 1990), Auswirkungen chemischer Belastung (Schonborn und Dumpert, 1990) und Unterschiede zwischen verschiedenen ökologischen Sukzessionsstadien (Santruckova, 1992; Insam und Haselwandter, 1989) festgestellt werden. Othonen (1994) weist jedoch darauf hin, dass der metabolische Quotient von zahlreichen Faktoren beeinflusst wird. Dieser Autor konnte keinen signifikanten Zusammenhang zwischen der Kontamination eines Kiefernwaldes mit Schwefel und dem metabolischen Quotienten beobachten. Auch die Studie von Wardle und Ghani (1995) kommt zu dem Ergebnis, dass der metabolische Quotient nur bedingt als Bioindikator von ökosystemaren Störungen geeignet ist, da er in erheblichem Maße durch natürliche Stressoren beeinflusst wird.

Einen weiteren mikrobiologischen Orientierungswert für Agrarböden fand Insam (1990) in der Regression zwischen dem Verhältnis von organischem und mikrobiellem Kohlenstoff einerseits und dem Verhältnis von Niederschlag und Verdunstung andererseits. Abweichungen von der Regressionsgeraden sollen auf Kohlenstoffzu- oder -abnahmen im System hinweisen. Damit sind Unterscheidungen zwischen kohlenstoffanreichernden und -verlierenden Systemen möglich. Voraussetzung ist jedoch, dass sich die betrachteten Böden im Kohlenstoffgleichgewicht befinden.

In den USA versuchen Zak et al. (1994), die Bodenbakterien in verschiedene Gesellschaften zu unterteilen, die über ihre funktionelle Diversität (die Fähigkeit, bestimmte Substrate zu metabolisieren) definiert werden. Zur Charakterisierung der Bakterien-Gesellschaften werden, unterteilt in 6 Stoffgruppen, insgesamt 128 verschiedene Kohlenstoffverbindungen als Substrat angeboten und die Anzahl der metabolisierten Substrate pro Gruppe ermittelt.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass es derzeit keine empirisch ermittelten Richtwerte für mikrobielle Kenngrößen gibt, weder in taxonomischer

Hinsicht noch im Hinblick auf Biomassegehalte oder physiologische Eigenschaften, auf deren Grundlage eine eindeutige Standort-Klassifizierung vorgenommen werden könnte. Daher können die mikrobiellen Eigenschaften eines Standortes gegenwärtig nicht einem gültigen Orientierungswert im Sinne einer Klassifizierung gegenübergestellt und der Standort entsprechend eingeordnet werden.

Unbenommen davon besteht die Notwendigkeit, aufgrund der enormen Bedeutung der Mikroflora für das Ökosystem, bei bodenbiologischen Untersuchungen eine detaillierte Charakterisierung der mikrobiellen Eigenschaften vorzunehmen. Dazu sollten der Biomassegehalt sowie die physiologische Aktivität (z. B. Atmung) der Bodenmikroflora erfasst werden. Der Vergleich der ermittelten Daten mit den Daten anderer Standorte erlaubt dann eine Beurteilung der quantitativen und qualitativen Bedeutung der Mikroflora für das untersuchte System und kann damit wichtige Hinweise auf mögliche Beeinträchtigungen aufgrund von Belastungen geben.“

Jedoch widersprechen die Methoden und Erkenntnisse nicht denen Ruschs. Auch er ermittelte den quantitativen Gehalt an Bodenmikroben (Zellzahlen). Für die qualitative Bewertung konzentrierte er sich auf ausgewählte Organismen und wählte die ubiquitär vorkommenden Stäbchenbakterien als Indikator für die bakterielle Leistungsfähigkeit und die bodenbiologische Qualität. Hier ist jedoch zu kritisieren, dass Ruschs Fokussierung auf Milchsäurebakterien die komplexen und umweltabhängigen Lebensgemeinschaften in der Rhizosphäre (Wurzelraum) ohne wissenschaftliche Begründung als allein maßgebend für seine Bodenfruchtbarkeitsparameter hervorhebt (Pinton et al., 2007; Walker et al., 2003).

Der qualitative Nachweis von Bodenmikroorganismen ist heute durch die DNA/RNA Charakterisierung eindeutig möglich und hat die optischen Methoden abgelöst. Torsvik und Øvreås (2002) geben einen Überblick über den heutigen Stand der Forschung (zusammengefasst aus dem Englischen):

„Die mikrobielle Diversität kann durch den Nachweis einzelner Spezies, die Anzahl der Arten, ihr relatives Vorkommen und funktionelle Gruppen beschrieben werden. So kann man ein sogenanntes Metagenom im Boden charakterisieren, das sowohl durch bekannte Einzelgenome spezieller Organismen als auch durch funktionelle Gruppen von Bodenorganismen ausgemacht wird. Zu verstehen, wie mikrobielle Gruppen auf unterschiedliche Umweltbedingungen, auf unterschiedliche Substratzufuhr und auf Nährstoffgehalte reagieren ist Gegenstand der heutigen Forschung. Weiterhin wird probiert, funktionelle Gruppen einzelnen Spezies zuzuordnen. Es wird versucht, die

in bestimmten Stoffwechselsituationen des Bodens aktiven Mikroorganismen durch die Aufnahme von Tracer-Substanzen zu identifizieren und zu charakterisieren. Darüber hinaus wird über die räumliche Isolation und Verteilung von Mikroorganismen im Boden geforscht. Die Charakterisierung solcher Mikrohabitate ermöglicht es, bodenphysikalische und bodenchemische Faktoren zu finden, die mikrobielles Wachstum bzw. einzelne Spezies fördern. Beschrieben wird z. B. dass 80 % der Bakterien in den Mikroporen stabiler Mikroaggregate des Bodens zu finden sind. Weiterhin hat die Korngröße des Bodens einen höheren Einfluss auf die mikrobielle Diversität als z. B. der Boden-pH oder die Art des Substrates. Ebenso wird über die Zusammenhänge von Bodennährstoffangebot und Bakteriendiversität und -wachstum sowie über Vorkommen und Ursachen der saisonalen Fluktuation der Mikrobenarten geforscht. Offensichtlich bleibt die mikrobielle Biomasse der Arten über die Jahreszeiten relativ konstant, ändert sich aber in der Zusammensetzung. Auch aus den neueren Arbeiten wird geschlossen – wie auch schon von Rusch postuliert –, dass eine hohe mikrobielle Diversität, eine hohe Rezyklierung der organischen Komponenten absichert. Die Effizienz des Nährstoffrecyclings ist Kernparameter für das Bodenökosystem hinsichtlich der Produktivität und Biomassebildung funktioneller Gruppen. Gefunden wurde, dass eine hohe katabolische Gleichmäßigkeit von Böden (Grünland) im Vergleich zu katabolischer Diversität (Acker) resistenter gegenüber Umwelteinflüssen ist. Studien zur Gensequenz in Mikrohabitaten und der Genexpression unter verschiedenen Umwelteinflüssen können dabei helfen, neue Bewirtschaftungsmethoden zur Förderung spezieller Bodenmikroben oder deren Gesamtheit zu geben“.

In der Nachfolge von Rusch wurden zahlreiche Untersuchungen zur Wirkung ökologischer Bewirtschaftungsverfahren auf die Biodiversität unter Berücksichtigung verschiedener Raum- und Zeitskalen durchgeführt. Eine kürzlich publizierte Meta-Analyse zeigt, dass Verfahren des Ökolandbaus aber nicht immer positiv auf Artenreichtum und Abundanz der Organismen wirken (Bengtsson et al., 2005). Neuerdings wird auch der Einsatz konservierender Bodenbearbeitungsverfahren im Ökolandbau versucht und kontrovers diskutiert (Peigne et al., 2007). Diese wirkte jedoch im Ökolandbau nicht positiv auf die Regenwurmpopulation (Peigne et al., 2009; Metzke et al., 2007). Hingegen begünstigen ökologische Bewirtschaftungsverfahren ansich höhere Abundanzen und Biomassen sowie ein größeres Artenspektrum an Regenwürmern (Bengtsson et al., 2005; Pfiffner, 1993). Rusch erkannte richtig, dass die Qualität der organischen Substanz für die

Häufigkeit der Regenwürmer entscheidend ist und nicht die Quantität. Daraus folgert er, dass Regenwürmer eher ein Zeichen für biologische Güte als quantitatives Maß Bodenwertigkeit sind. Allerdings differenziert er nicht weiter in einzelne Arten und deren spezifische Ansprüche. Auch fand er keine Beziehung zwischen Individuendichte der Regenwürmer und pH-Wert (207), was sicherlich an der gewählten Spanne von pH 6,0 bis 7,4 lag. Diese entspricht ziemlich genau dem Optimalbereich aller heimischen Arten. Neuere Studien zeigen einen deutlichen Einfluss der pH-Werte auf die Regenwurmpopulationen (Joschko et al., 2006; Didden, 2001). Zu Ruschs Zeit wurden auch bereits erste Analysen zur Bedeutung von Regenwürmern auf den Nährelement-Haushalt des Bodens durchgeführt. So gelang Graff (1970) als einem der ersten der Nachweis verbesserter Bodenfruchtbarkeit durch Regenwurmtätigkeit in Abhängigkeit unterschiedlicher Mulchmaterialien an der Bodenoberfläche. Die Losung in den Regenwurmgängen zeigte höhere Gehalte an Stickstoff, Phosphor, Calcium und Magnesium als der umgebende Boden.

4 Nutzbarkeit und Erweiterung der Erkenntnisse zur biologischen Bodenqualität nach Rusch

Die Widersprüche zwischen der Theorie zur Humuswirtschaft von Rusch und den heute gültigen Erkenntnissen zur Rolle des Humus bzw. des Umsatzes organischer Substanz im Boden liegen überwiegend in Ruschs Annahme „*Lebenssubstanzen*“ würden die Pflanzenernährung maßgeblich bestimmen. Zudem ist die einseitige Fokussierung seiner biologischen Tests auf Milchsäurebakterien nicht wissenschaftlich belegt. Es ist nicht von der Hand zu weisen, dass den organischen Stoffen im Boden, deren Abbauprodukten und dem Bodenleben eine enorme Bedeutung für das komplexe System der Bodenfruchtbarkeit zukommt. Jedoch sind die direkten biologisch-chemischen Zusammenhänge mit dem Pflanzenwachstum bis heute nur äußerst schwer zu verifizieren. Richtig sind Ruschs Aussagen zur Pflanzenunverträglichkeit von frisch eingearbeiteten unreifen Komposten oder anderen organischen Materialien (Requena et al., 1996; de Bertoldi et al., 1983). Sicher ist auch, dass Humus über Nährstoffbindung, Nährstoffbereitstellung, Wasserhaltevermögen, Temperaturen etc. positiv und direkt auf die Bodenfruchtbarkeit wirkt. Die tatsächliche Bedeutung von Ruschs Nachweismethoden zur Charakterisierung der Abbaubarkeit von Materialien und von mikrobiellen Kennziffern im Boden für die Landwirtschaft ist aber vermutlich gering. Zweifellos sind unterschiedliche Materialien im Boden unterschiedlich abbaubar. Es erhebt sich aber die Frage, ob solche externen Materialien für die organische Düngung in der Landwirtschaft überhaupt in großem Umfang zur Verfügung stehen, denn dieser Aspekt spielte in Ruschs Gedankenwelt

eine entscheidende Rolle. Zwischenfruchtanbau, Gründüngung und die Fruchtfolgegestaltung – Maßnahmen, die landwirtschaftlich eine wichtige Bedeutung für den Kreislauf der organischen Substanz im Boden haben und die in der Praxis auch umsetzbar sind – wurden von Rusch nur untergeordnet diskutiert bzw. als ohnehin notwendig unterstellt. Die Grenzen konsequenter Umsetzung der Humuswirtschaft hat Rusch selbst formuliert. Sie liegen in der technischen Umsetzbarkeit nicht wendender Bodenbearbeitung und in der ausreichenden Zufuhr organischer Substanz z. B. in viehlosen Betrieben. Die Auswirkungen einer Bodenbearbeitung unter konsequenter Beachtung der typischen boden-biologisch bedingten Bodenschichtungen ohne Brüche in der Bewirtschaftung sind zu überprüfen. Hier sollten bodenschonende, nichtwendende Bewirtschaftungsverfahren z. B. mit Schichtengrubbern anderen Verfahren gegenübergestellt werden.

Hinsichtlich der Bewertung der Bodenfruchtbarkeit müssen übergeordnete bodenchemische und bodenphysikalische Bewertungsparameter (KAK, Austauschbelegung, Bodenart und -schichtung), die Gehalte und Qualität der organischen Substanz des Bodens, seine Humusgehalte und -qualitäten und die mikrobielle Besiedlung von Böden in Abhängigkeit von der Bewirtschaftung näher analysiert werden. Aufgrund der dargestellten neueren Erkenntnisse zu biologischen und mineralischen Bodenfruchtbarkeitskennziffern ist neu zu überlegen, ob die grundsätzlichen Theorien von Rusch zum Umbau der organischen Substanz im Boden (Grundversuch, Zellgare, Plasmagare), zum Management (Flächenkompostierung), zur qualitativen Einstufung organischer Materialien (Zellzahlen, Biologischer Index) und zur Rolle der Bodenmikroben im Boden für die Praxis des biologischen Landbaus von Bedeutung sind.

Lagerung, Ausbringung und Einarbeitung von Wirtschaftsdüngern sollten mit geringen Nährstoffverlusten durchgeführt werden. Die Humusbildung im Boden bzw. ausgeglichene Humusbilanzen müssen wichtiges Ziel der Bewirtschaftung sein, um einem Bodenfruchtbarkeitsschwund zu begegnen. Es ist zu prüfen, ob die Bewirtschaftung nach den Prinzipien von Rusch tatsächlich positive und nachweisbare Ergebnisse für die Bodenfruchtbarkeit im Ökologischen Landbau bringt. In diesem Kontext ist es besonders wichtig eine praktikable Methode zu entwickeln, die eine Charakterisierung des Garendes und der biologischen Besiedlung von Böden als Summenparameter einer gelungenen ökologischen Bodenbewirtschaftung ermöglicht. Mikrobielle Details sind mit einfacher Analytik nur schwer darzustellen. Daher wären für die praktische Anwendung einfache Tests zur Beurteilung der Bodenqualität wünschenswert. Beispiele hierfür sind z. B. die Spatendiagnose zur Definition des Gefüges und des Humuszustandes (Beste und Hampl, 1999; Goerbing, 1947), Zahl und Art von Regenwürmern

als einfacher Indikator für die Bodenfruchtbarkeit und C_{org} und C_{mik} zur groben Einstufung der Humusversorgung und des aktiven Bodenlebens. Die Bodenfruchtbarkeit sollte weiterhin auch anhand von pH- und Nährstoffanalysen im Boden überprüft werden, die um die konsequente Aufstellung von Nährstoffbilanzen zu erweitern sind. Die aus gedüngten Systemen abgeleiteten Bodengrenzwerte und Analysemethoden sind hinsichtlich Validität für den Ökologischen Landbau kritisch zu überprüfen. Dem Potential der Nährstoffmobilisierung von Böden in ertragsschwächeren Systemen wie dem Ökologischen Landbau sollte intensive Beachtung geschenkt werden. Besonderes Augenmerk zukünftiger Forschung sollte der Bedeutung bodenbiologischer Prozesse für den P Umsatz, sowie einer Bewertung organischer P-Fractionen für die P-Ernährung der Pflanzen gelten (Guppy und McLaughlin, 2009; Eichler-Löbermann et al., 2007; Fortune et al., 2005; Oehl et al., 2002).

Unstrittig ist die Bedeutung des Humus für die Bodenfruchtbarkeit (Manlay et al., 2007). Die Nutzbarkeit der Rusch-Tests ist jedoch wissenschaftlich nicht belegt und die praktische Relevanz der Werte ist fraglich. Im Allgemeinplatz „Mutterboden“ bleibt dem auch von Rusch geprägten Begriff der „Mutter Erde“ aber ein bleibendes Andenken: „Die Fruchtbarkeit kehrt dahin zurück woher sie kam“ (Rusch, 1955).

Danksagung

Die Autoren danken Frau Dr. Frauke Godlinski vom Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde des Julius Kühn-Institut (JKI) in Braunschweig für die kritische Durchsicht des Textes.

Literatur

- Adam C, Pepelinski B, Kley G, Kratz S, Schick J, Schnug E (2008) Phosphorrückgewinnung aus Klärschlammaschen : Ergebnisse aus dem EU-Projekt SUSAN. *Österr Wasser- Abfallwirtsch* 3-4(Spec Iss):55-64
- Aguirre E, Leménager D, Bacaicoa E, Fuentes M, Baigorri R, Zamarreno AM, Garcia-Mina JM (2009) The root application of a purified leonardite humic acid modifies the transcriptional regulation of the main physiological root responses to Fe deficiency in Fe-sufficient cucumber plants. *Plant Physiol Biochem* 47(3):215-223
- Alföldi T, Mäder P, Oberson A, Spiess E, Niggli U, Besson JM (1993) DOK-Versuch : vergleichende Langzeit-Untersuchungen in den drei Anbausystemen biologisch-Dynamisch, Organisch-biologisch und Konventionell. *Schweiz Landwirtschaft Forsch* 32(4):479-507
- Anderson T-H, Domsch KH (1990) Application of eco-physiological quotients (qCO₂ and qD) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. *Soil Biol Biochem* 22(2):251-255
- Aryal UK, Shah SK, Xu HL, Fujita M (2006) Growth, nodulation and mycorrhizal colonization in bean plants improved by rhizobial inoculation with organic and chemical fertilization. *J Sustain Agric* 29(2):71-83
- Askegaard M, Eriksen J (2002) Exchangeable potassium in soil as indicator of potassium status in an organic crop rotation on loamy sand. *Soil Use Manage* 18(2):84-90

- Askegaard M, Eriksen J, Olesen JE (2003) Exchangeable potassium and potassium balances in organic crop rotations on a coarse sand. *Soil Use Manage* 19(2):96-103
- Astier M, Maass JM, Etchevers-Barra JD, Pena JJ, Gonzalez FD (2006) Short-term green manure and tillage management effects on maize yield and soil quality in an Andisol. *Soil Tillage Res* 88(1-2):153-159
- Ayuso M, Hernandez T, Garcia C, Pascual JA (1996) A comparative study of the effect on barley growth of humic substances extracted from municipal wastes and from traditional organic materials. *J Sci Food Agric* 72(4):493-500
- Balzer FM (2000) Ganzheitliche standortgemäße dynamische Bodenbeurteilung. Wetter : Verl Ehrenfried-Pfeiffer, Ausbildungs- u. Forschungsstätte, 72 p
- Balzer FM, Balzer-Graf U (1984) Bodenanalyse System Dr. Balzer. *Lebendige Erde* (1:13-18, 2:66-71, 4:151-156)
- Banchio E, Xie XT, Zhang HM, Pare PW (2009) Soil bacteria elevate essential oil accumulation and emissions in sweet basil. *J Agric Food Chem* 57(2):653-657
- Bengtsson J, Ahnstrom J, Weibull AC (2005) The effects of organic agriculture on biodiversity and abundance : a meta-analysis. *J Appl Ecol* 42(2):261-269
- Beste A, Hampf U (1999) Project ecological soil management : science for life from healthy soils. *Ökol Landbau* 1/1999
- Biernath C, Fischer H, Kuzyalov Y (2008) Root uptake of N-containing and N-free low molecular weight organic substances by maize : A C-14/N-15 tracer study. *Soil Biol Biochem* 40(9):2237-2245
- Bioland (2007) Bioland-Richtlinien [online]. Zu finden in <http://www.bioland.de/fileadmin/bioland/file/bioland/qualitaet_richtlinien/Richtlinien_27-April-2009.pdf> [zitiert am 11.08.2009]
- Brookes PC, Landman A, Pruden G, Jenkinson DS (1985) Chloroform fumigation and the release of soil-nitrogen : a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. *Soil Biol Biochem* 17(6):837-842
- Brookes PC, Powlson DS, Jenkinson DS (1982) Measurement of microbial biomass phosphorus in soil. *Soil Biol Biochem* 14(4):319-329
- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2005) *Bodenkundliche Kartieranleitung*. Stuttgart : Schweizbart, 438 p
- Burleigh SH, Bechmann IE (2002) Plant nutrient transporter regulation in arbuscular mycorrhizas. *Plant Soil* 244(1-2):247-251
- Carletti P, Masi A, Spolaore B, De Laureto PP, De Zorzi M, Turetta L, Ferretti M, Nardi S (2008) Protein expression changes in maize roots in response to humic substances. *J Chem Ecol* 34(6):804-818
- David C, Jeuffroy MH, Recous S, Dorsainvil F (2004) Adaptation and assessment of the Azodyn model for managing the nitrogen fertilization of organic winter wheat. *Eur J Agron* 21(2):249-266
- de Bertoldi M, Vallini G, Pera A (1983) The biology of composting : a review. *Waste Mgmt Res* 1:157-176
- Didden WAM (2001) Earthworm communities in grasslands and horticultural soils. *Biol Fertil Soils* 33(2):111-117
- Djajakirana G, Joergensen RG, Meyer B (1996) Ergosterol and microbial biomass relationship in soil. *Biol Fertil Soils* 22(4):299-304
- Doskarova A (1966) Uptake of RNA by the root system of tomato. *Biol Plant* 8(2):110-116
- Durchführungs-Verordnung (2008) Verordnung (EG) Nr. 889/2008 der Kommission vom 5. September 2008 mit Durchführungsvorschriften zur Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen hinsichtlich der ökologischen/biologischen Produktion, Kennzeichnung und Kontrolle. *Amtsblatt der Europäischen Union* : L, Rechtsvorschriften L 259:1-84
- Eichler-Löbermann B, Kohne S, Koppen D (2007) Effect of organic, inorganic, and combined organic and inorganic P fertilization on plant P uptake and soil P pools. *J Plant Nutr Soil Sci*-170(5):623-628
- Falkengren-Grerup U, Mansson KF, Olsson MO (2000) Uptake capacity of amino acids by ten grasses and forbs in relation to soil acidity and nitrogen availability. *Environ Exp Bot* 44(3):207-219
- Feller CL, Thuries LJM, Manlay RJ, Robin P, Frossard E (2003) „The principles of rational agriculture“ by Albrecht Daniel Thaer (1752-1828) : an approach to the sustainability of cropping systems at the beginning of the 19th century. *J Plant Nutr Soil Sc* 166(6):687-698
- Ferrara G, Brunetti G (2008) Influence of foliar applications of humic acids on yield and fruit quality of table grape cv. Italia. *J Int Sci Vigne Vin* 42(2):79-87
- Fließbach A, Oberholzer HR, Gunst L, Mader P (2007) Soil organic matter and biological soil quality indicators after 21 years of organic and conventional farming. *Agric Ecosyst Environ* 118(1-4):273-284
- Fortune S, Robinson JS, Watson CA, Philipps L, Conway JS, Stockdale EA (2005) Response of organically managed grassland to available phosphorus and potassium in the soil and supplementary fertilization : field trials using grass-clover leys cut for silage. *Soil Use Manage* 21(4):370-376
- Gethke K, Montag D, Herbst H, Pinnekamp J (2008) Phosphorrückgewinnung aus Klärschlamm. In: *Müllhandbuch*. Berlin : Schmid, Lfg 2/2008
- Godsey CB, Pierzynski GM, Mengel DB, Lamond RE (2007) Changes in soil pH, organic carbon, and extractable aluminum from crop rotation and tillage. *Soil Sci Soc Am J* 71(3):1038-1044
- Goerbing J (1947) Die Spatendiagnose : Ziel und Grundlage biologisch zweckmässiger Bodenbearbeitung. Hamburg : Sachse, Neubau von Boden her 7
- Gollner M (2003) Auswirkungen acker- und pflanzenbaulicher Maßnahmen sowie der Dauer der ökologischen Bewirtschaftung auf die arbuskuläre Mykorrhiza im Ökologischen Landbau . Wien : Univ Bodenkultur, 143 p
- Graff O (1970) Influence of different mulch materials on content of nutrient elements in subsoil earthworm tubes. *Pedobiologia* 10(4):305-&
- Guppy CN, McLaughlin MJ (2009) Options for increasing the biological cycling of phosphorus in low-input and organic agricultural systems. *Crop Pasture Sci* 60(2):116-123
- Haneklaus S, Schnug E, Paulsen HM, Hagel I (2005) Soil analysis for organic farming. *Comm Soil Sci Plant Anal* 36(1-3):65-79
- Hoffmann M (2004) Geleitwort zum Buch: Hans Peter Rusch, Bodenfruchtbarkeit : eine Studie biologischen Denkens [online]. Zu finden in <<http://www.deutschesfachbuch.de/info/detail.php?isbn=3922201458&part=1&word=Bodenfruchtbarkeit+OLV+Verlag>> [zitiert am 11.08.2009]
- Insam H (1990) Anwendung des mikrobiellen Respirations-/Biomasse-Verhältnisses für bodenökologische Studien. *Verh Ges Ökologie* 19(2):330-334
- Insam H, Haselwandter K (1989) Metabolic quotient of the soil microflora in relation to plant succession. *Oecologia* 79(2):174-178
- Jörgensen RG (1995) Die quantitative Bestimmung der mikrobiellen Biomasse in Böden mit der Chloroform-Fumigations-Extraktions-Methode. *Göttinger bodenkundliche Berichte* 104
- Joschko M, Fox CA, Lentzsch P, Kiesel J, Hierold W, Kruck S, Timmer J (2006) Spatial analysis of earthworm biodiversity at the regional scale. *Agric Ecosyst Environ* 112(4):367-380
- Kirchmann H, Bergstrom L, Katterer T, Mattsson L, Gesslein S (2007) Comparison of long-term organic and conventional crop-livestock systems on a previously nutrient-depleted soil in Sweden. *Agron J* 99(4):960-972
- Kratz S, Schnug E (2005) Schwermetalle in P-Düngern. *Landbauforsch Völknerode*, SH 286:37-45
- Küstermann B, Kainz M, Hülsbergen KJ (2008) Modeling carbon cycles and estimation of greenhouse gas emissions from organic and conventional farming systems. *Renewable Agric Food Syst* 23(1):38-52
- Lal R (2004) Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma* 123(1-2):1-22
- Lecher K, Lühr HP, Zanke U (2001) *Taschenbuch der Wasserwirtschaft*. Berlin : Parey, 1202 p
- Leithold G, Brock C (2006) Humusbilanzierung im ökologischen Landbau [online]. Zu finden in <<http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2006/3134/pdf/LeitholdGuenter-2006-07-28.pdf>> [zitiert am 11.08.2009]
- Liebig J (1878) *Chemischer Brief* 50
- Lindenthal T (2000) Phosphorvorräte in Böden, betriebliche Phosphorbilanzen und Phosphorversorgung im Biologischen Landbau. **Wien** : **Univ Bodenkultur**, 272 p
- Lockeretz W (2007) *Organic farming : an international history*. Wallingford : CABI, 282 p
- Loes AK, Ogaard AF (2001) Long-term changes in extractable soil phosphorus (P) in organic dairy farming systems. *Plant Soil* 237(2):321-332

- Manlay RJ, Feller C, Swift MJ (2007) Historical evolution of soil organic matter concepts and their relationships with the fertility and sustainability of cropping systems. *Agriculture Ecosystems & Environment* 119(3-4):217-233
- Mäder P, Viehweger A, Koller M, Wiemken A, Bruns C, George E (2005) Mykorrhiza im ökologischen Landbau. In: Heß J, Rahmann G (eds) *Ende der Nische : Beiträge zur 8. Wissenschaftstagung ökologischer Landbau*, Kassel, 1.-4. März 2005, pp 225-228
- Mayer J, Scheid S, Oberholzer HR (2008) How effective are „Effective Microorganisms“? : Results from an organic farming field experiment. In: Neuhooff D, Halsberg N, Alföldi T (eds) *Cultivating the Future Based on Science : proceedings of the Second Scientific Conference of the International Society of Organic Agriculture Research (ISOFAR)*, held at the 16th IFOAM Organic World Congress in Cooperation with the International Federation of Organic Agriculture Movements (IFOAM) and the Consorzio ModenaBio, 18 - 20 June 2008 in Modena, Italy. Bonn : ISOFAR, pp 168-171
- Metzke M, Potthoff M, Quintern M, Hess J, Joergensen RG (2007) Effect of reduced tillage systems on earthworm communities in a 6-year organic rotation. *Eur J Soil Biol* 43:S209-S215
- Mozafar A, Oertli JJ (1992) Uptake of a microbially-produced vitamin-B12 by soybean roots. *Plant Soil* 139(1):23-30
- Nelson NO, Janke RR (2007) Phosphorus sources and management in organic production systems. *Horttechnol* 17(4):442-454
- Newman E (1997) Phosphorus balance of contrasting farming systems, past and present : can food production be sustainable? *J Appl Ecology* 34(6):1334-1347
- Nishizawa N, Mori S (1977) Invagination of plasmalemma : its role in absorption of macromolecules in rice roots. *Plant Cell Physiol* 18(4):767-782
- Oehl F, Oberson A, Tagmann HU, Besson JM, Dubois D, Mader P, Roth HR, Frossard E (2002) Phosphorus budget and phosphorus availability in soils under organic and conventional farming. *Nutr Cycl Agroecosyst* 62(1):25-35
- Ohtonen R (1994) Accumulation of organic-matter along a pollution gradient : application of odums theory of ecosystem energetics. *Microbial Ecol* 27(1):43-55
- Öko-Basisverordnung (2007) Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates vom 28. Juni 2007 über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 2092/91. *Amtsblatt der Europäischen Union* : L, Rechtsvorschriften L189:1-23
- Ortega R, Fernandez M (2007) Agronomic evaluation of liquid humus derived from earthworm humic substances. *J Plant Nutr* 30(10-12):2091-2104
- Peigne J, Ball BC, Roger-Estrade J, David C (2007) Is conservation tillage suitable for organic farming? ; A review. *Soil Use Manage* 23(2):129-144
- Peigne J, Cannavaciolo M, Gautronneau Y, Aveline A, Giteau JL, Cluzeau D (2009) Earthworm populations under different tillage systems in organic farming. *Soil Tillage Res* 104(2):207-214
- Pfiffner L (1993) Long-term effects of biological and conventional farming on earthworm populations. *Z Pflanzenernaehr Bodenkd* 156(3):259-265
- Pietikainen J, Fritze H (1995) Clear-cutting and prescribed burning in coniferous forest : comparison of effects on soil fungal and total microbial biomass ; respiration activity and nitrification. *Soil BiolBiochem* 27(1):101-109
- Pinton R, Varanini Z, Nannipieri P (2007) The rhizosphere : biochemistry and organic substances at the soil-plant interface. Boca Raton : CRC, 447p
- Polder MD, Hulzebos EM, Jager DT (1995) Validation of models on uptake of organic-chemicals by plant-roots. *Environ Toxicol Chem* 14(9):1615-1623
- Quintern M, Joergensen RG, Wildhagen H (2006a) Permanent-soil monitoring sites for documentation of soil-fertility development after changing from conventional to organic farming. *J Plant Nutr Soil Sci* 169(4):564-572
- Quintern M, Lein M, Joergensen RG (2006b) Changes in soil-biological quality indices after long-term addition of shredded shrubs and biogenic waste compost. *J Plant Nutr Soil Sci* 169(4):488-493
- Rahmann G, Aulrich K, Barth K, Boehm H, Koopmann R, Oppermann R, Paulsen HM, Weissmann F (2008) Klimarelevanz des ökologischen Landbaus ; Stand des Wissens. *Landbauforsch* 58(1-2):71-89
- Rahmann G, Oppermann R, Paulsen HM, Weissmann F (2009) Good, but not good enough? : Research and development needs in organic farming. *Landbauforsch* 59(1):29-40
- Raupp J (2001) Kann man bei der Nährstoffbilanzierung im ökologischen Anbau mit den üblichen Faustzahlen rechnen? *Mitt Ges Pflanzenbauwiss* 13:246-247
- Raupp J, Oltmanns M, Jarosch AM, Neumann E (2009) Ertrag und Wurzelkolonisation mit arbuskulären Mykorrhiza-Pilzen von organisch oder mineralisch gedüngtem Weizen auf trockenem, sandigen Boden. In: Mayer J, Alföldi T, Leiber F (eds) *Werte - Wege - Wirkungen : Biolandbau im Spannungsfeld zwischen Ernährungssicherung, Markt und Klimawandel ; Beiträge zur 10. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau ; Zürich, 10.-13 Februar 2009 ; Bd. 1: Boden, Pflanzenbau, Agrartechnik, Umwelt und Naturschutz, Biolandbau international, Wissensmanagement*. Berlin : Köster, pp 34-37
- Redshaw CH, Cooke MP, Talbot HM, McGrath S, Rowland SJ (2008) Low biodegradability of fluoxetine HCl, diazepam and their human metabolites in sewage sludge-amended soil. *J Soils Sediments* 8(4):217-230
- Requena N, Azcón R, Baca MT (1996) Chemical changes in humic substances from compost due to incubation with ligno-cellulolytic microorganisms and effects on lettuce growth. *Appl Microbiol Biotech* 45(6):857-863
- Richter C, Heiligtag B, Schmidt R, Kolsch E (1997) Influence of different fertilization on pH, N, C and CAL-extractable K and P in the soil. *Z Pflanzenernähr Bodenkd* 160(1):107-111
- Römbke J, Beck L, Förster B, Fründ HC, Horak F, Ruf A, Rosciczweski C, Scheurig M, Waos S (1997) Boden als Lebensraum für Bodenorganismen : bodenbiologische Standortklassifikation ; Literaturstudie. Karlsruhe : Landesanst Umweltschutz Baden-Württemberg, 437 p, Handbuch Boden - Texte und Berichte zum Bodenschutz 97,4
- Römer W (2006) Das Phosphorproblem : neue Lösung in Sicht? *Ökologie und Landbau* 139(3):39-41
- Römer W, Lehne P (2004a) Abfuhr verlangt Zufuhr. Auch im ökologischen Landbau werden mit den Ernteprodukten Nährstoffe entfernt - sie müssen ersetzt werden. *Neue Landwirtschaft* 10:38-39
- Römer W, Lehne P (2004b) Neglected P and K fertilization in organic farming reduces N-2 fixation and grain yield in a red clover-oat rotation. *J Plant Nutr Soil Sci* 167(1):106-113
- Rusch HP (1955) *Naturwissenschaft von morgen : Vorlesungen über Erhaltung und Kreislauf lebendiger Substanz*. Zürich : Hartmann, 252 p
- Rusch HP (1960) Weg und Wirkung der makromolekularen Umweltkräfte auf Organismen. *Mitteilungsbl Zentralverb Ärzte Naturheilverfahren* 1(6):86
- Rusch HP (1968) *Bodenfruchtbarkeit : eine Studie biologischen Denkens*. Heidelberg : Haug, 243 p
- Rusch HP (1970) Die mikrobiologische Boden-Untersuchung nach Dr. med. H. P. Rusch - was bedeuten die ermittelten Werte über "Menge" und "Güte" für die Praxis des organisch-biologischen Landbaues? *Großhöchstetten : Schweizer Bauern-Heimatschule freie Landbauschule organisch-biologischen Landbau auf dem Möschberg*, 12 p
- Ryan MH, Graham JH (2002) Is there a role for arbuscular mycorrhizal fungi in production agriculture? *Plant Soil* 244(1-2):263-271
- Santruckova H (1992) Microbial biomass, activity and soil respiration in relation to secondary succession. *Pedobiologia* 36(6):341-350
- Scheffer F, Schachtschabel P (2008) *Lehrbuch der Bodenkunde*. Heidelberg : Spektrum Akad Verl, 593 p
- Schonborn W, Dumpert K (1990) Effects of pentachlorophenol and 2,4,5-trichlorophenoxyacetic acid on the microflora of the soil in a beech wood. *Biol FertilSoils* 9(4):292-300
- Schroder P, Scheer C, Belford BJD (2001) Metabolism of organic xenobiotics in plants: conjugating enzymes and metabolic end points. *Minerva Biotech* 13(2):85-91
- Steinwender R, Gruber L, Schauer A, Guggenberger T, Hausler J, Sobotik M (2000) Comparison of organic and conventional farming on a grassland farm : 1st communication: grassland yield, forage feed value, amount of slurry. *Bodenkultur* 51(4):267-281
- Svennerstam H, Ganeteg U, Nasholm T (2008) Root uptake of cationic amino acids by *Arabidopsis* depends on functional expression of amino acid permease. *New Phytol* 180(3):620-630
- Syltje PW (2002) *How soils work*. Fairfax : Xulon Press, 188 p
- Thaer AE (1811) *Principes raisonné d'agriculture*. Paris : Pascoud Libraire, 372 p

- Toljander JF, Santos-Gonzalez JC, Tehler A, Finlay RD (2008) Community analysis of arbuscular mycorrhizal fungi and bacteria in the maize mycorrhizosphere in a long-term fertilization trial. *FEMS Microbiol Ecol* 65(2):323-338
- Torsvik V, Øvreås L (2002) Microbial diversity and function in soil : from genes to ecosystems. *Curr Opin Microbiol* 5(3):240-245
- Tyndall J (1872) Six lectures on light. London : Longmans, 236 p
- Vance ED, Brookes PC, Jenkinson DS (1987) An extraction method for measuring soil microbial biomass-C. *Soil Biol Biochem* 19(6):703-707
- VDLUFA (2000) Standpunkt : Bestimmung des Kalkbedarfs von Acker- und Grünlandböden. Darmstadt [online]. Zu finden in <<http://www.vdlufa.de/joomla/Dokumente/Standpunkte/0-9-kalk.pdf>> [zitiert am 11.08.2009]
- Walker TS, Bais HP, Grotewold E, Vivanco JM (2003) Root exudation and rhizosphere biology. *Plant Physiol* 132(1):44-51
- Wardle DA, Ghani A (1995) A critique of the microbial metabolic quotient (qCO₂) as a bioindicator of disturbance and ecosystem development. *Soil Biol Biochem* 27(12):1601-1610
- Watson CA, Bengtsson H, Ebbesvik M, Loes AK, Myrbeck A, Salomon E, Schröder J, Stockdale EA (2002) A review of farm-scale nutrient budgets for organic farms as a tool for management of soil fertility. *Soil Use Manage* 18:264-273
- WBGU (1993) Welt im Wandel : Jahresgutachten. Berlin : Springer
- Zak JC, Willig MR, Moorhead DL, Wildman HG (1994) Functional diversity of microbial communities : a quantitative approach. *Soil Biol Biochem* 26(9):1101-1108
- Zancani M, Petrusa E, Krajnakova J, Casolo V, Spaccini R, Piccolo A, Macri F, Vianello A (2009) Effect of humic acids on phosphate level and energetic metabolism of tobacco BY-2 suspension cell cultures. *Environ Exp Bot* 65(2-3):287-295