

TELMA	Band 10	Seite 97-107	2 Abb., 2 Tab.	Hannover, Juli 1980
-------	---------	--------------	----------------	---------------------

Die Umverteilung des organisch gebundenen Stickstoffs in Sand- mischkulturen als Indikator der Bodenentwicklung

Redistribution of Organic Bound Nitrogen in the Organic Matter
of Sand-mixes Cultivated Soils as Indicator of Soil Development

RUDOLF ALDAG, PETER-C. HAGEMANN und HERBERT KUNTZE*)

ZUSAMMENFASSUNG

Sandmischkulturen unterschiedlichen Alters sowie einige Ausgangstorfe der kultivierten Moorböden wurden auf den Gehalt und die Verteilung an organisch gebundenem Stickstoff in verschiedenen N-Fractionen untersucht. Mit zunehmendem Alter der Sandmischkulturen steigt der Humifizierungsgrad und der Gesamtstickstoffgehalt der organischen Substanz.

Parallel dazu steigt in Relation zum Gesamt-Stickstoff der Anteil des insgesamt nicht-hydrolysierbaren, vorwiegend heterozyklisch organisch gebundenen Stickstoffs stärker an, und entsprechend stärker verringert sich der Anteil des insgesamt hydrolysierbaren Stickstoffs.

Im Zuge dieser Umstrukturierung der organischen Substanz nähert sich die Verteilung des organisch gebundenen Stickstoffs auf die einzelnen N-Fractionen auch in Moorkulturböden dem Muster, wie es an isolierten Huminsäuren aus Podsolen oder Schwarzerden bekannt ist.

Auch der absolute Gehalt an Aminosäure-N pro g organischer Substanz nimmt mit zunehmendem Alter der Sandmischkulturen zu,

*) Anschriften der Verfasser: Dr. habil. R. ALDAG, Institut für Bodenkunde der Georg-August-Universität, v. Siebold-Str. 4, 3400 Göttingen; Dr. P.-C. HAGEMANN, Fa. Rhein-Braun, Stüttgenweg 2, 5000 Köln; Prof. Dr. H. KUNTZE, Ltd. Dir. u. Prof, im Nieders. Landesamt für Bodenforschung, Bodentechnologisches Institut Bremen, Friedrich-Missler-Str. 46/50, 2800 Bremen.

eine typische Veränderung am Verteilungsmuster der einzelnen Aminosäuren zueinander ist jedoch nicht zu erkennen.

Bei den Aminoazuckern tritt dagegen eine charakteristische Veränderung ein. Während die Relation von Glukosamin zu Galaktosamin im sauren Hochmoortorf etwa 1 ist, liegt diese Relation in der Fehnkultur bei 2,5.

SUMMARY

Sand-mixed cultivated soils of different age and the original peat Substrates were analysed for their nitrogen content and for their distribution of organically bound nitrogen in different nitrogen fractions. With increasing age of sand-mixed cultivated bogs the degree of humification and the total nitrogen content of the organic matter increase as well in these soils.

Corresponding with these changes the relative amounts of non hydrolysable, heterocyclically bound nitrogen increase more than the relative amounts of total hydrolysable nitrogen.

In the course of this structural change of the organic matter the distribution pattern of organically bound nitrogen in different nitrogen fractions of the sand-mixed cultivated soils becomes similar to that which is known from isolated humic acids of podsollic soils or chernozems.

The absolute amount of amino-acid-nitrogen per g organic matter increases with the age of sand-mixed cultivated soils too. A typical change in the distribution pattern of the different amino acids was not observed.

On the other side a typical change in the distribution pattern of amino sugars takes place.

Whereas the ratio of glucosamine to galactosamine in the original high moor peat is near 1, the corresponding ratio in the older sand-mixed cultivated soil is about 2,5.

1. PROBLEMSTELLUNG

Sandmischkulturen sind das Endglied der Moorkultivierung. Sie unterliegen einer Entwicklung zum tiefgründigen humosen Boden ähnlich dem Plaggenesch mit den Teilprozessen Setzung, Homogenisierung und Humifizierung (KUNTZE, 1972a). Für die Wasser- und Nährstoffdynamik nimmt die humifizierte organische Substanz in der Krume dieser Böden die Schlüsselstellung ein. Die Stabilität der organischen Bodensubstanz wird weitgehend von deren C/N-Verhältnis bestimmt.

Über die Verteilung und Charakterisierung des durch 6 N HCl hydrolysierbaren Stickstoffs in Mineralböden, die nicht durch kulturtechnische Maßnahmen verändert und beeinflusst worden sind, liegen bereits zahlreiche Untersuchungen vor (ALDAG et al., 1977; GOH a. EDMEADES, 1979; SOWDEN, 1977).

Hier galt es zu fragen, ob durch Fraktionierung des durch salzsaure Hydrolyse freisetzbaren organisch gebundenen Stickstoffs weitere Folgerungen über die Entwicklung einer Sand/Torf-Mischung zum humosen Sandboden möglich sind. Dazu werden Krumenböden verschieden alter Sandmischkulturen mit unterschiedlichen Ausgangs- und Entwicklungsbedingungen untersucht.

2. MATERIAL UND METHODEN

Von folgenden Versuchsflächen des Bodentechnologischen Instituts Bremen wurden Krumenböden (0-25 cm) untersucht:

1. FV 57 Königsmoor, Deutsche Sandmischkultur seit 1959, S/Hh
2. F I Königsmoor, Fehnkultur seit 1937, S/Hh
Hh
3. FV 24 Overlahe, maschinell besandetes Leegmoor seit 1954,
S/Hh
Hh
4. FV 9 Bortfeld, Niedermoorschwarzkultur (Hn), Tiefpflugsand-
deckkultur (S), Sandmischkultur (S/Hn) seit 1969.
(Hn)

Die Versuchsflächen sind bei HAGEMANN (1978) näher beschrieben. Die Gesamt-N-Bestimmung erfolgte nach KJELDAHL. Die N-Fraktionierung ist bei ALDAG et al. (1977) beschrieben.

Die Bezeichnung der N-Fraktionen erfolgt nach ALDAG et al. (1977); dabei bedeuten:

N_{c}	= Gesamt-Stickstoff
AD_e	= echter Amid-N
AD_p	= Pseudo-Amid-N
AS	= Aminosäuren-N insgesamt
AZ	= Aminozucker-N insgesamt
RNHY	= Rest-N in Hydrolysat
fN HY	= Summe des hydrolysierbaren Stickstoffs insgesamt
fHZ nhy	= Stickstoff insgesamt nicht hydrolysierbar, vorwiegend heterozyklisch organisch gebunden.

Zur besseren Übersicht sind in Tabelle 1 einige Kenndaten der untersuchten Böden zusammengestellt.

3. ERGEBNISSE

3.1 VERGLEICH MIT MINERALBÖDEN

Die Mengen an organisch gebundenem Stickstoff in den einzelnen N-Fraktionen der untersuchten Moorkulturböden sind in Tabelle 2 aufgeführt. Um gleichzeitig vergleichen zu können, in welchem Umfange sich der organisch gebundene Stickstoff in den Ap-Horizonten natürlich entwickelter Sandböden und einer Parabraunerde auf die betreffenden N-Fraktionen verteilt, sind zusätzlich

Tab. 1: Einige Kenndaten der untersuchten Böden Some characteristics of the investigated soils						
Versuchsort	Variante	PH (CaCl ₂)	N _t (% TM)	C org. (% TM)	C/N	
Königsmoor	20 cm gepflügt	4,7	0,17	5,0	29	
S/Hh	45 " "	4,4	0,20	6,3	31	
	45 " gespatet	4,5	0,27	8,7	32	
	allmähliche Krumen- vertiefung	4,4	0,21	6,7	32	
	Fehnkultur	4,6	0,17	3,1	18	
Overlahe	<u>S/Hh</u>	4,7	0,31	8,7	28	
	Hh					
Bortfeld	Hn	5,1	0,77	10,8	14	
	S/Hn	5,3	0,54	7,6	17	
	<u>S</u> Hn	5,8	0,11	1,9	17	

Tab. 2: Organisch gebundener Stickstoff in den einzelnen N- Fraktionen der untersuchten Böden (alle Angaben in ig N/g Boden) Organically bound nitrogen in the individual nitrogen fractions of the investigated soils (all values as /ig N/g soll)							
N- Frak- tionen	S/Hh Königsmoor	<u>S/Hh</u> Hh	s Fuhrberg Te 4-)	S Kopura ++)	uL Rosdorf	<u>S</u> Hn Bortfeld	S/Hn
AD _e	39	39	40	70	31	30	135
AD _p	155	152	276	229	125	193	543
AS	560	492	515	825	341	358	1476
AZ	51	42	51	153	31	26	119
RNH _y	236	302	247	201	266	201	1402
£N _{HY}	1053	1075	1091	1479	894	845	3710
£HZ _{nh_y}	503	620	179	221	174	340	1690
N _t	1556	1695	1270	1700	1068	1185	5400

+) ALDAG (1975); ++) GOH a. EDMEADES (1979)

entsprechende Ergebnisse aus der Literatur mit aufgenommen worden.

Es sei darauf hingewiesen, daß die Summe des Stickstoffs in

den N-Fractionen $AD_e + AD_p + AS + AZ + RNHY$ nicht exakt der N-Menge im Hydrolysat (f_{NHY}) entspricht. Für die beiden Sandböden wie für die Sandmischkulturböden ist die Übereinstimmung jedoch recht gut, nicht dagegen beim uL-Boden sowie dem Boden Bortfeld, der in seiner mineralischen Komponente ebenfalls etwas lehmig ist. Der Fehlbetrag entspricht jeweils der mineralischen N-Menge im Boden, die aus austauschbarem Ammonium, Nitrat-N und hydrolysierbarem fixiertem Ammonium bestehen kann.

Organische Böden besitzen nur einen sehr geringen Anteil an mineralischem Stickstoff (im Mittel der untersuchten Böden ca. 2,0 mg NO_3^- -N/100 g Boden und ca. 2,6 mg NH_4^+ -N/100 g Boden). Ein weitaus größerer Teil des von der Pflanze aufgenommenen Stickstoffs muß daher in der Vegetationsperiode aus organischen Bindungen mineralisiert werden.

Die beiden Hochmoorkulturen aus Königsmoor unterscheiden sich von den beiden Sandböden aus Fuhrberg und Neu-Seeland (Kopura) nur durch eine größere Menge an nicht hydrolysierbarem, heterozyklisch organisch gebundenem Stickstoff. Dies könnte auf den höheren Gehalt an humifizierter Torfsubstanz zurückzuführen sein.

Ebenso ist die Verteilung des Stickstoffs auf die einzelnen N-Fractionen bei der Parabraunerde aus Löß (uL) und der schluffig-lehmigen Niedermoorsanddeckkultur recht ähnlich. Die größere Menge an AD-Stickstoff bei der Sanddeckkultur (193 ppm) könnte teilweise auf das Vorhandensein von hydrolysierbarem mineralisch fixiertem Ammonium zurückzuführen sein, das bei diesem Boden nicht bestimmt wurde, aufgrund der Korngrößenverteilung mit 11% Ton und ca. 30-40% Schluff aber als gegeben angesehen werden muß.

3.2 ABHÄNGIGKEITEN VOM ALTER

3.2.1 N-FRAKTIONEN

In Abbildung 1 ist die Verteilung des organisch gebundenen Stickstoffs auf die N-Fractionen in Abhängigkeit vom Alter der Moorkulturen zusammengestellt. Auf der Abszisse sind die Standorte links mit dem jüngsten Alter beginnend aufgetragen. Die oberste Kurve gibt jeweils an, wieviel Gesamt-N in der organischen Substanz der Moorkulturböden enthalten ist.

Es fällt zunächst auf, daß mit längerer Nutzungsdauer der an die organische Substanz gebundene Stickstoff (N) von 5 mg N/1 g organische Substanz in den Ausgangstorfen über etwa 18-19 mg N in der Sandmischkultur Königsmoor auf 32 mg N in der dortigen älteren Fehnkultur deutlich ansteigt.

Für die höhere Menge des organischen Stickstoffs in der Torfprobe aus Overlahe dürften zwei Gründe verantwortlich sein.

Die Probe wurde aus 40-50 cm Tiefe entnommen. Es handelt sich dabei um die nach der Abtorfung wieder ausgebreitete Bunkererde. Außerdem ist die sehr intensive Bewirtschaftungsweise sicherlich nicht ohne Einfluß auf den Nährstoffgehalt dieses Tor-

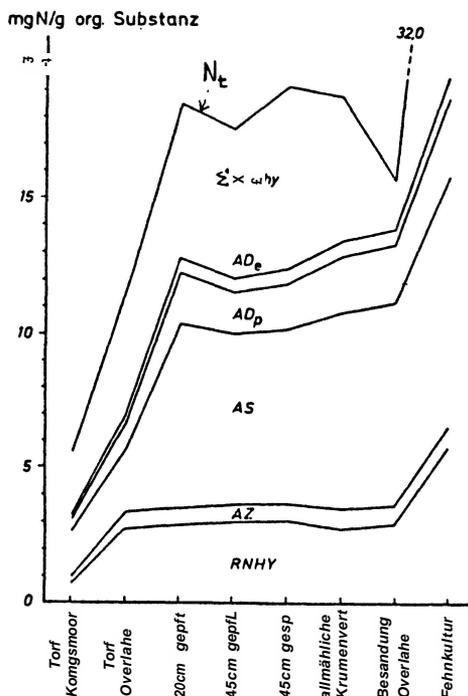


Abb. 1

Verteilung des organisch gebundenen Stickstoffs auf die N-Fractionen in Abhängigkeit vom Alter der Moorkultur (alle Angaben in mg N/g organischer Substanz) (HAGEMANN, 1978)
 Distribution of organically bound nitrogen in different nitrogen fractions depending on the age of peat cultivation (all values as mg N/g organic matter)

fest geblieben. Unterstützt wird diese Vermutung zudem durch den mit 16 mg N gegenüber 11,6 mg N im Torf nicht sehr viel höheren Gesamt-N-Gehalt der besandeten Vergleichsfläche.

Mit der Zunahme des N_t ist vor allem eine stärkere Zunahme des Aminosäure-N bei allen Varianten verbunden (s. 3.2.2).

Der Gehalt an heterozyklisch organisch gebundenem, nicht hydrolysierbarem Stickstoff (fHZ nhy) ist bei allen Varianten der Sandmischkultur Königsmoor mit 5,5-6,5 mg N (entsprechend 31-35% des N_t) etwa gleich groß, so daß er sich einer weiteren Interpretation entzieht.

Es zeigt sich bereits hier, daß durch Kultivierung und Dauer der Nutzung eines Moores fHZ nhy abnimmt und somit fN HY deutlich zunimmt. Erstaunlich ist der sehr niedrige Anteil des N in der fHZ nhy-Fraktion bei dem besandeten Hochmoor in Overlahe (12,5% von N_t). Ein Zusammenhang mit der hohen biologischen Aktivität dieser Fläche wird vermutet (HAGEMANN, 1978).

Die große Menge an fHZ nhy-Stickstoff der Fehnkultur ist in erster Linie auf den höheren N-Gehalt zurückzuführen, außerdem ist diese Fraktion mit 37% von N_t gegenüber durchschnittlich 31% bei den Sandmischkulturvarianten stärker vertreten.

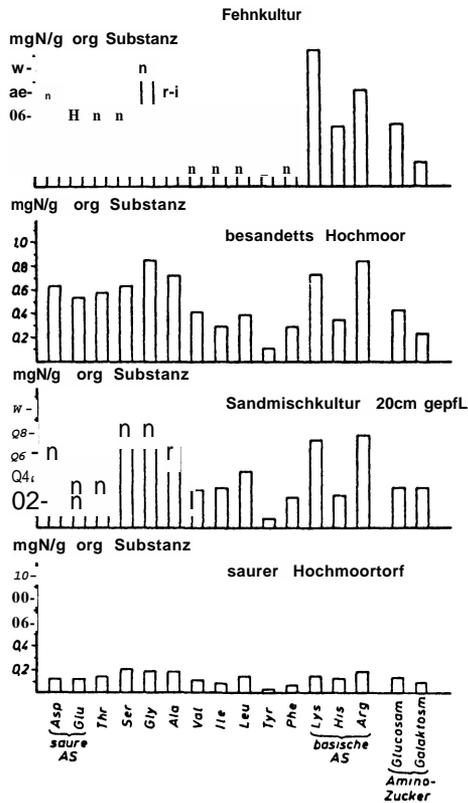


Abb. 2

Aminosäure- und Aminosucker-Spektren der bezeichneten Substrate (alle Angaben in mg N/g org. Substanz) (HAGEMANN, 1978)

Amino acid and amino sugar spectra in the denoted Substrates (all values in mg Amino acid-N/g organic matter)

Eine Zunahme höhermolekularer Stickstoffverbindungen im Verlaufe längerer Nutzung könnte als Ursache für die Zunahme des heterozyklisch gebundenen Stickstoffs angesehen werden.

Die N-Mengen in den N-Fractionen RNHY, AZ, AD und AD_e verändern sich mit zunehmendem Alter der Moorkultur in Relation zum N_t nur unwesentlich.

3.2.2 AMINOSÄURE- UND AMINOZUCKER-ZUSAMMENSETZUNG DER AS- UND AZ-FRAKTION

Eine interessante Entwicklung der verschieden alten Sandmischkulturböden läßt sich erkennen, wenn man die Aminosäure- und Aminosucker-Zusammensetzung der AS- und AZ-Fractionen in die Einzelkomponenten aufgliedert (s. Abb. 2). In dieser Entwicklungsreihe steht wieder der saure Hochmoortorf als Anfangsglied unten, ihm folgen darüber die auf 20 cm Tiefe gepflügte Sandmischkultur, das besandete Hochmoor und die relativ alte Fehnkultur.

Im rohen Hochmoortorf sind entsprechend den geringen Gesamt-

stickstoffgehalten nur sehr kleine Mengen der verschiedenen Aminosäuren und Aminosucker eingebaut (0,1-0,2 mg N/1 g organische Substanz). Ein charakteristisches Verteilungsmuster ist daher nur sehr schwer zu beschreiben.

Mit der Dauer der landwirtschaftlichen Nutzung ändert sich das sichtbar. Zunächst ist eine deutliche Zunahme aller hydrolysierten Aminosäuren und Aminosucker festzustellen.

Außerdem tritt das für den Hochmoortorf nur in Ansätzen zu erkennende Spektrum der Aminosäuren bei den Sandmischkulturböden eindeutiger hervor. Danach ist die größte Zunahme bei den neutralen Aminosäuren Serin, Glycin, Alanin und bei den basischen Aminosäuren Lysin und Arginin zu verzeichnen.

Auch mit zunehmend intensiverer (besandetes Hochmoor) bzw. längerer Nutzung (Fehnkultur) ändert sich dieses Aminosäuremuster nur noch geringfügig. Lediglich die absoluten Mengen der einzelnen Aminosäuren nehmen mit dem Alter der Sandmischkulturen zu.

Die zunehmende Differenzierung bei den Aminosuckern ist dadurch gekennzeichnet, daß mit zunehmendem Alter das Verhältnis von Glukosamin zu Galaktosamin größer wird.

4. DISKUSSION

Wie KUNTZE (1972a) nachweisen konnte, steigt mit zunehmender Humifizierung der Hochmoortorfe der Stickstoffanteil in der organischen Substanz von Sandmischkulturen. Ältere Hochmoorkulturen sind N-reicher als jüngere.

Gleiche Ergebnisse wurden auch in den vorliegenden Untersuchungen gefunden (5,5 mg N/1 g organische Substanz bei rohen Hochmoortorfen und 32 mg N/1 g organische Substanz bei einer seit 1938 genutzten Fehnkultur, Abb. 1).

Damit sind Vor- und Nachteile verbunden. Zunächst speichern diese Böden mit Umbau der Hochmoortorfe zu Huminstoffen mehr Stickstoff, der sonst verloren ginge. Mit der Stickstoffbevorratung dürfte ihre "Bodenfruchtbarkeit" gefördert werden. Allerdings ist der dann auch zunehmende Druck nitrophiler Unkräuter zu bedenken.

Bei weiterer Fraktionierung des organisch gebundenen Stickstoffs zeigt sich (Abb. 1), daß zunächst bei relativ frischen Mischungen aus Hochmoortorf und Sand (= Variante mit allmählicher Krümmenvertiefung) die Menge an insgesamt hydrolysierbarem Stickstoff (/NH_Y) sehr groß ist (70-80% des N_t) und das Verhältnis /NH_Y : XHZ nhy (insgesamt nicht hydrolysierbarer, vorwiegend heterozyklisch gebundener Stickstoff) mit etwa 3 : 1 dem einer natürlichen Schwarzerde im Ap-Horizont (ALDAG u. ROCHUS, 1979; dort Abb. 1, Profil Nr. II) sehr nahe kommt.

Bei der Beurteilung der extremen Werte für den Versuchsstandort Overlahe ist neben der intensiven Bewirtschaftungsweise zu berücksichtigen, daß mit dem ständig tieferen Pflügen besandeter Leegmoore ursprünglich bereits belebte und durchwurzelt

te Bunkerde erfaßt und in die Krume mit eingemischt werden kann. Eine gleichmäßig flache Bearbeitungstiefe (s. Königsmoor u. Bortfeld in Tab. 1) bzw. eine längere Nutzungsdauer (s. Fehnkultur, Abb. 1) führt dagegen in Relation zum Gesamt-N zu einer Abnahme des insgesamt hydrolysierbaren Stickstoffs und zu einer Zunahme des fHZ nhy .

Der absolute Stickstoffanteil in der organischen Substanz nimmt zwar mit fortschreitender Humifizierung zu, jedoch verringern sich seine dem mikrobiellen Abbau zugänglichen Anteile.

Damit dürfte der Nachweis erbracht sein, daß bei älteren Sandmischkulturen mit zunehmender Humifizierung der organischen Substanz der schwer mineralisierbare Stickstoff-Pool im Boden größer wird. Dabei nähert sich die Verteilung des organisch gebundenen Stickstoffs auf die einzelnen N-Fractionen Werten, wie sie z.B. an isolierten Huminsäuren aus Podsolen oder Schwarzerden gefunden wurden (ALDAG, 1977; ALDAG u. ROCHUS, 1979).

Die Stickstoffmengen in der Krume erhöhen sich von ca. 2.500 kg N/ha \cdot 20 cm Tiefe im Hochmoortorf aus Königsmoor (r. 135 g/dm³) auf 3.500-5.000 kg N/ha \cdot 20 cm Tiefe je nach Humusgehalten und Rohdichten (r. 800-1.200 g/dm³) für die Sandmischkulturvarianten. In die Fehnkultur (5,3 Gew.% organischer Substanz, r_t 1.380 g/dm³) sind nach 40jähriger Nutzung 4.700 kg N/ha \cdot 20 cm Tiefe eingebaut worden.

Die Stickstoffzufuhr über die Düngung ist bei vorwiegend Getreidebau mit durchschnittlich 100-120 kg N/ha Jahr anzusetzen, die zu 40-80% je nach Jahreswitterung (feucht - trocken) von den Kulturpflanzen aufgenommen werden.

Aus dem Vergleich der Aminosäure-Spektren (s. Abb. 2) verschieden alter Sandmischkulturen läßt sich außer einer absoluten Zunahme jeder einzelnen Aminosäure pro g organischer Substanz keine Veränderung in ihrem typischen Verteilungsmuster erkennen.

Auch dieser Befund zeigt an, daß mit zunehmendem Alter der Sandmischkultur die Menge und die Verteilung des Aminosäure-Stickstoffs im Boden sich Verhältnissen nähert, wie wir sie beispielsweise aus vergleichbaren Substraten (Podsole) kennen (ALDAG, 1977; GOH a. EDMEADES, 1979).

Die beiden Aminosäuren Glukosamin und Galaktosamin dagegen zeigen in Abbildung 2 mit zunehmendem Alter der Sandmischkultur eine interessante Differenzierung. Während das Verhältnis der beiden Aminosäuren zueinander (Glukosamin/Galaktosamin) in dem sauren Hochmoortorf und in der 20 cm tief gepflügten Sandmischkultur etwa 1 beträgt, erweitert sich diese Relation im besandeten Hochmoor von 1,8 auf 2,5 in der Fehnkultur. Damit zeigt sich, daß mit zunehmendem Alter der Sandmischkultur unter den standortüblichen Milieubedingungen offensichtlich der Einfluß der Pilzflora gegenüber der Bakterienflora anwächst, wenn man einmal davon ausgeht, daß Glukosamin vorwiegend aus Chitin und Galaktosamin aus Bakterienzellwänden stammt. Ähnlich hohe Glukosamin/Galaktosamin-Relationen sind auch in sauren Braunerden (ALDAG u. KICKUTH, 1973 und in einem Podsol (GOH a. EDMEADES,

1979)) auf Neu-Seeland gemessen worden.

Dieser Befund wird ferner durch grundlegende Untersuchungen von ANDERSON u. DOMSCH (1975) gestützt. Sie fanden bei der Bestimmung der lebenden Biomasse in zahlreichen Böden, daß die gesamte Biomasse der Bodenmikroflora zu etwa 70% aus Pilzen und zu 30% aus Bakterien besteht.

LITERATUR

- ALDAG, R. u. KICKUTH, R. (1973): Stickstoffverbindungen und ihre Beziehung zur Humusdynamik. 1. Mitteilung: Fraktionierung und Bilanzierung der Amino Zucker und der Aminosäuren in den Ah-Horizonten einer Rendzina und vier Sauer-Braunerden des Göttinger Waldes. - Zeitschr. Pflanzenern. u. Bodenkunde, 136, 193-202, Weinheim.
- ALDAG, R. (1975): Verfügbarkeit des Stickstoffs in Ackerböden. Bestimmungsprobleme aus der Sicht der Umverteilung der Stickstoff-Bindungsformen durch Bebrütung. - Landw. Forschung, 32, I, 91-99, Frankfurt/M.
- (1977): Relations between Pseudo-Amide nitrogen and humic acid nitrogen released under different hydrolytic conditions. - Soil Organic Matter Studies, I.A.E.A., 293-299, Vienna.
- ALDAG, R., IBRAHIM, S.A. u. MEYER, B. (1977): Voraussdüngung von Sommerweizen durch N-Gaben zur Vor- und Zwischenfrucht Raps. Mitteilung II: Mengen-Zeitgang der N-Fractionen im Boden (Vergleich: Bewuchs/Brache). - Göttinger Bodenkdl. Berichte, 48, 77-235, Göttingen.
- ALDAG, R. u. ROCHUS, W. (1979): Verteilung des Stickstoffs auf verschiedene N-Fractionen und N-Bindungsformen im Gesamtbodenmaterial, in Huminsäuren und in Kieselsäure-Huminsäuren einer Schwarzerde -> Griserde-Sequenz unter Wald im Raum Hildesheim. - Mitt. Dt. Bodenkundl. Ges., 29, 299-308, Göttingen.
- ANDERSON, J.P.E. a. DOMSCH, K.H. (1975): Measurement of bacterial and fungal contribution to respiration of selected agricultural and forest soils. - Can. J. Microbiol., 21, 314-322, Ottawa.
- GOH, K.M. a. EDMEADES, D.C. (1979): Distribution and partial characterization of acid hydrolysable organic nitrogen in six New Zealand soils. - Soil Biol. Biochem., 11, 127-132, Oxford.
- HAGEMANN, P.-C. (1978): Bodentechnologische und moorkundliche Faktoren zur nachhaltigen Entwicklung von Sanddeck- und Sandmischkulturen. - Göttinger Bodenkundl. Ber., 53, 1-154, Göttingen.
- KUNTZE, H. (1972a): Rekultivierung gealterter Moorkulturen. - TELMA, 8, 109-118, Hannover.

- (1972b): Die Torfkomponente in der Bodenbildung auf Sandmischkulturen. - Mitt. Dt. Bodenkundl. Ges., 15, 155-162, Göttingen.
- SOWDEN, F.J. (1977): Distribution of nitrogen in representative Canadian soils. - Can. J. Soil Sei., 57, 445-456, Ottawa.