

Forschung

Eiweißstoffwechsel im Boden und Humusaufbau

Die Eiweißgehalte der Ernte- und Wurzelrückstände und die Mistdüngung beeinflussen den Eiweißumsatz im Boden und den Humusaufbau

von Edwin Scheller

Dr. Edwin Scheller,
Universität Kassel,
Fachgebiet Bodenbiologie,
Nordbahnhofstr. 1a,
37213 Witzenhausen,
edwsche@aol.com.

Der Aufbau von Humus und der Bodenfruchtbarkeit ist das Ziel vieler biologisch-dynamisch und organisch wirtschaftender Landwirte und Gärtner. Doch in der Praxis ist es gar nicht so einfach, das auch zu erreichen. Das Problem beginnt schon mit dem Verständnis von Humus: Woraus ist er überhaupt aufgebaut? In den letzten 30 bis 40 Jahren wurde der Schwerpunkt der Betrachtung auf seine chemische Seite gelegt, seine Lebensfunktionen traten in den Hintergrund. SCHEFFER und ULRICH betonten in ihrem Buch: „Humus und Humusdüngung“ aus dem Jahre 1960 noch, dass Humus mehr ist als das, was chemisch in der Analyse zugänglich ist. Doch prägten sie dann einen unglücklichen Begriff: „*Humus als postmortale organische Substanz*“. Dieser Begriff suggeriert, dass Humus eine Ansammlung von chemisch stabilen, schwer verdaubaren Verbindungen ist und dass sich diese deshalb im Boden anreichern, weil sie nur schwer und langsam abgebaut werden können. Es wird auch der Begriff „tote organische Substanz“ verwendet, obwohl viele Phänomene dagegen sprechen. Die aromatischen Substanzen und die Vorstellung ihrer schweren Abbaubarkeit verführten zu der Annahme, dass das Lignin eine bestimmende Rolle beim Aufbau des Humus spielen würde. Neuere Untersuchungen haben aber gezeigt, dass Lignine relativ rasch und leicht abgebaut werden und sich dagegen eine andere Substanzgruppe anreichert und stabilisiert: die Aminosäuren und Eiweiße. Der Stickstoff hat für

den Humusaufbau eine größere Bedeutung als der Kohlenstoff, wie von den Kollegen in Ostdeutschland (z.B. RAUHE) klar erkannt wurde. Die Lieferung von Stickstoff durch den Abbau des Eiweißes ist ein Hauptfaktor der quantitativen Bodenfruchtbarkeit.

Nach eigenen Untersuchungen liegen in Sandböden ca. 50 – 56% des Stickstoffs in Aminosäuren sowie Asparagin und Glutamin eingebunden vor, aber nur 20% des Kohlenstoffes. Nach Untersuchungen von ALDAG UND KICKUTH sind weitere 5 – 12% des Gesamtstickstoffs in Aminosäuren eingebaut. In den verschiedenen Huminsäuren sind bis ca. 70% des Stickstoffs als Aminosäuren und echte Amide eingebunden. Das heißt, die Grundstruktur der Huminstoffe ist eine eiweißartige Struktur. Schon WAKSMAN und HUTCHINGS erkannten in den 30iger Jahren, dass bei gleichem Boden der prozentuale Eiweißanteil pro Einheit Humus konstant bleibt, unabhängig von der Zu- oder Abnahme des Humusgehaltes. Sie standen einer Fraktionierung des Humus kritisch gegenüber: „Die Fraktionierung von Humus in Humine, Huminsäuren und Reihumus hat wenig dazu beigetragen, die Chemie des Humus in seiner Funktion als Ganzes besser zu verstehen genauso wie seine Rolle bei Bodenprozessen.“ F. J. SOWDEN untersuchte in den 60iger Jahren die Aminosäurenverteilung in Böden Kanadas und fand weitgehend ähnliche Aminosäurenmuster in verschiedenen gedüngten Böden, die sich bei Zu-

oder Abnahme des Humusgehaltes nicht veränderten.

Das Aminosäurenmuster im Boden

In den letzten Jahren haben wir über 100 Acker-, Wiesen- und Waldböden auf ihre Aminosäurenzusammensetzung im Oberboden untersucht. Wir fanden in allen Böden ein weitgehend ähnliches Aminosäurenmuster. In Abbildung 1 sind sehr unterschiedliche Böden zusammengestellt, vom Ackerboden bis zum Podsol aus Nadelstreu. Sie weisen überraschenderweise alle ein fast identisches Aminosäurenmuster auf. Dieses Aminosäurenmuster unterscheidet sich von dem der zugeführten organischen Substanz aus Gründüngung, Wurzelmasse und Stallmist. Das typische Aminosäurenmuster der Böden entsteht offensichtlich erst beim Ab- und Umbau der zugeführten Stoffe.

In welchem Abbaustadium werden die Huminstoffe gebildet und wann entsteht der Umbau des Aminosäurenmusters? Um diese Frage zu beantworten, haben wir die Zersetzung von Buchenlaubstreu im Wald studiert. Wir verglichen die Aminosäurenzusammensetzung von grünem und braunem Buchenlaub am Baum mit der von der dunklen humusartigen Mullschicht unter dem Laub und der organischen Substanz des Oberbodens.

Dabei zeigte es sich, dass die Umbildung der Aminosäurenverhältnisse schon zwischen der braunen Laubschicht und der darunter entstande-



Präparierter Mistkompost:
das Beste für den Boden

nenschwarzen humosen Schicht von statten gegangen war. Das heißt, die Umbildung geschieht bereits oberhalb des Bodens durch die Streuzersetzer und die mit Ihnen vergesellschafteten Mikroorganismen.

Aus Untersuchungen der Aminosäurezusammensetzung der mikrobiellen Biomasse, die ich zusammen mit Dr. FRIEDEL, Univ. f. Bodenkultur Wien, durchgeführt habe, wurde deutlich, dass die mikrobielle Biomasse von Ackerböden, Nadelwaldböden usw. sehr unterschiedlich aufgebaut ist, aber die Aminosäurenverteilung in der organischen Substanz sich nicht wesentlich unterscheidet. Es ist also nicht die mikrobielle Biomasse als Ganzes, die die Vereinheitlichung der Aminosäurezusammensetzung verursacht. Leider konnte diese Frage bis jetzt noch nicht vollständig geklärt werden.

Humusaufbau über den Stallmist

Aminosäuren und in geringerem Maße Aminosäurebausteine sind die wichtigsten Komponenten der Bodenfruchtbarkeit im Humus auf, den Gesamtstickstoffgehalt. Um Humus aufzubauen, müssen somit große Mengen Eiweiß in die organische Substanz des Bodens eingebaut werden. Und ähnlich wie in der Schweinefütterung werden die einzelnen Aminosäuren in bestimmten Verhältnissen zueinander gebraucht. Der Eiweißumsatz, quantitativ und qualitativ, begrenzt das Humusniveau auf seiner jeweiligen Höhe. Ein einfaches Rechenbeispiel soll dies zeigen:

Ackerbaulich genutzte Lehmböden haben häufig Gesamtstickstoffgehalte von 0,10–0,15%, entsprechend 4.000–6.000 kg N/ha in der Oberkrume, entsprechend 2–3% organische Substanz. Um das Niveau der organischen Substanz von 2% auf 3% anzuheben, also von 0,10 auf 0,15% Gesamtstick-

stoff, müssen ca. 2.000 kg N/ha zusätzlich in den Oberboden eingespeichert werden. Neben den Wurzeln der Feldfutterleguminosen leistet Rindermist erfahrungsgemäß den wirkungsvollsten Humusaufbau. Nach RAUHE werden 50–55% des Rindermiststickstoffs (Kot + Stroh) in die organische Substanz des Bodens eingebaut. Im Rinderkot (ohne Stroh) sind im Mittel 63% seines Stickstoffs in Aminosäuren eingebunden. Rindermist ist in erster Linie ein Eiweißdünger, deshalb kann er auch den Eiweißumsatz im Boden und den Humusgehalt erhöhen.

Um 2.000 kg N/ha zusätzlich in die organische Substanz des Bodens einzubauen, müssen demnach ca. 4.000 kg N/ha zusätzlich in Form von Rindermist dem Boden über mehrere Jahre zugeführt werden, da die Einbaurate nur 50% beträgt. In 100 dt Rindermist sind ca. 50–60 kg N/ha enthalten. Das bedeutet, man würde ca. 8.000 dt Rindermist/ha über einen Zeitraum von wenigen Jahren zusätzlich benötigen, um diese Humuserhöhung in wenigen Jahren mit Rindermist durchzuführen. Diese Mistmenge entspricht der Mistlieferung von ca. 70 GVE/ha. Würde diese Mistmenge über einen Zeitraum von 7 Jahren zusätzlich einem Boden zugeführt, dann müsste jährlich die Mistmenge von ca. 10 Kühen auf einen Hektar ausgebracht werden. Diese Stallmistmengen werden manchmal den Gartenbauflächen auf den Höfen zugeführt und man sieht dann auch bald den Erfolg. Doch für den Gesamtbetrieb sind sie nicht vorhanden. Deshalb ist es gar nicht so leicht, den Humusgehalt wirklich zu erhöhen. Der Humusgehalt ergibt sich meistens aus einem Gleichgewicht zwischen Eiweißzufuhr und Eiweißabbau im Boden. Der Eiweißabbau wird durch das Klima, die Bodenbearbeitung und Düngung beeinflusst, die Eiweißzufuhr durch die Betriebs-

form (Viehhaltung!) und Fruchtfolge (Feldfutterleguminosen).

Unterschiedliche Wirkungen der Dünger auf den Bodenstoffwechsel und den N-Abbau und N-Einbau

Stickstoff, in mineralischer Form dem Boden zugeführt (Mineraldünger, Harnstoff, Jauche), fördert den Abbau von Bodeneiweiß, das heißt die Mineralisierung, und führt zur Bildung hoher Nitratmengen,

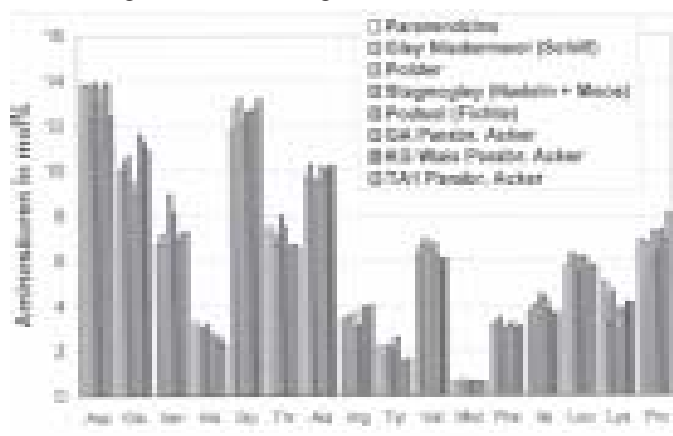


Abb. 1: Prozentuale Verteilung von 16 untersuchten Aminosäuren im Oberboden sehr unterschiedlicher Böden nach der Hydrolyse mit 6 n HCl (Friedel und Scheller 2002)

die im Frühling von den Pflanzen benötigt werden. Eine ähnliche Wirkung hat das Einarbeiten junger Gründüngungsgemeinde im Frühling. Die stoffwechselaktiven Substanzen der grünen Blätter und der Stickstoffreichtum stimulieren eine schnelle Nitratbildung bis über 10 kg NO₃-N/ha und Tag über Zeiträume von 10–14 Tagen. Das heißt, bei warmem Boden bekommt man nach dem Einarbeiten stickstoffreicher Gründüngungsgemeinde 120–180 kg NO₃-N/ha in kurzer Zeit bereitgestellt, die durch eine starkzehrende Kultur in zwei bis drei Wochen wieder aufgenommen werden.

Rindermiststickstoff wird, wie oben dargestellt, in erster Linie in den Humus eingebaut und wird nur wenig mineralisiert. Als Faustzahl kann man nach den Untersuchungen von STEIN-BACHINGER nur mit 10% Mineralisierung im ersten Jahr rechnen. Bei 300 dt Stallmist sind das nur ca. 15 kg N/ha, die

zusätzlich von der Kultur aufgenommen werden.

Eine ähnlich gute Humusaufbauleistung wie der Stallmist haben die Wurzelrückstände der Feldfutterleguminosen. Es ist meines Wissens nicht genau geklärt, warum sich das Wurzeleiweiß bezüglich des Humusaufbaus anders verhält als das Blatteiweiß. Das gleiche

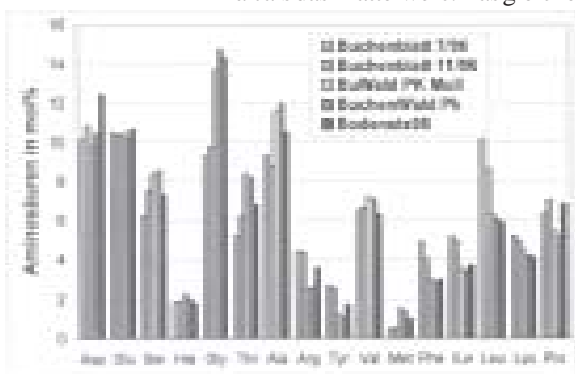


Abb. 2: Verteilung von 16 analysierten Aminosäuren in mol% nach der Hydrolyse mit 6 n HCl in grünen (Juli) und braunen (Nov.) Buchenblättern, im O-Horizont unter der Auflageschicht von braunen Buchenblättern und in der organischen Substanz des Ah-Horizontes eines Buchenwaldbodens (Scheller und Friedel 2000)

gilt für das Phänomen, dass Blatteiweiß, von Rindern verdaut und als Mist ausgeschieden, sich anders verhält als wenn es im grünen Zustand in den Boden eingebracht wird. Werden junge Gründüngungsgemeinde in den Boden eingearbeitet, dann fördern sie in erster Linie die Mineralisierung, das heißt, den Eiweißabbau im Boden. Der Einfluß der Reife des Futters auf die Mistqualität und dessen Humusaufbauleistung wäre eine interessante Forschungsfrage. SOWDEN hat die praktischen Erfahrungen zusammengefasst und zitiert NORMAN aus den vierziger Jahren: „Um einen Effekt auf den Humus zu haben, sollte man „braun“ und nicht „grün“ düngen.“

Die Eiweißgehalte der Wurzeln landwirtschaftlicher Kulturpflanzen

Die Viehhaltung und den Stallmistanfall kann man innerhalb eines organisch wirtschaftenden Betrie-

bes nur in engen Grenzen variieren. Daher liegt eine weitere wichtige Quelle für den Eiweißumsatz im Boden im Anbau von Pflanzen mit einem eiweißreichen Wurzelsystem. Tab. 1 gibt einen Überblick über die Rohprotein- und Reineiweißgehalte der Wurzeln verschiedener landwirtschaftlicher Kulturpflanzen.

Die Gräser- und Getreidewurzeln haben mit 0,6 – 0,7% Rohprotein und einem Reineiweißanteil von 52 – 58% relativ niedrige Eiweißmengen, die in den Humus eingebaut werden können. Gräser- und Getreide sind daher wenig geeignet, den Humusgehalt über ihre Wurzelrückstände zu erhöhen. Inwiefern sie durch Wurzel Ausscheidungen zum Humusaufbau beitragen, kann im Moment nicht beurteilt werden. Rotklee wurzeln hatten in unseren Untersuchungen einen mittleren Gehalt von 2,3% N_t (Gesamtstickstoff) mit einem Reineiweißgehalt von 68%. Das heißt, pro 10 dt Wurzel trockenmasse sind 15 kg N in Reineiweißform enthalten, gegenüber nur 3–4 kg N in den Gräser- und Getreidewurzeln. Rotklee liefert pro 10 dt Wurzel trockenmasse mindestens die vierfache Menge an Eiweiß wie Gräser und Getreide. Dazu kommt noch, dass die Wurzelmasse pro Hektar insgesamt größer ist. Die Reineiweißgehalte in den Wurzeln der Luzerne lagen mit 11 – 14 kg N/10 dt Wurzel trockenmasse etwas niedriger wie bei Rotklee und fallen bei der 7-jährigen Luzerne weiter ab.

Die höchste Eiweißlieferung pro 10 dt Wurzel trockenmasse hat die Winterwicke mit 25 kg N. Einen gleich hohen Rohproteingehalt fanden wir bei der Inkarnatklee-

wurzel. Winterwicke und Inkarnatklee können bei richtiger ackerbaulicher Handhabung auch als Zwischenfrucht im Wickroggen oder im Landsberger Gemenge den Eiweißumsatz in kurzer Zeit erhöhen und die Nachfrucht zu einem ordentlichen Ertrag bringen. Die Winterwicke braucht aber ein sorgfältig zubereitetes Saatbett, so daß sie gleichmäßig und vollständig keimt. Auch manche Beikräuter hatten zu unserer Überraschung Reineiweißgehalte in den Wurzeln, die denen der Feldfutterleguminosen nicht nachstanden. Hier sind insbesondere Ackerhellerkraut und Gänsefußwurzel zu erwähnen.

Humusabbau durch Getreide-Hackfrucht-Fruchtfolgen und viehlose Wirtschaft

Baut man auf den Feldern nur noch Hackfrüchte und Getreide an, dann reduziert man gegenüber einer Fruchtfolge mit Klee gras oder Luzerne den Eiweißumsatz erheblich. Die Folge sind zwangsläufig abnehmende Humusgehalte bis ein neues Gleichgewicht zwischen Abbau und Aufbau gefunden ist. Das hat eine große Anzahl von Feldversuchen gezeigt. Die Ursache ist der geringere Eiweißumsatz. Wird dann gleichzeitig das Rindvieh abgeschafft, dann fehlt der Stallmist als wichtiger Eiweißlieferant und die Humusgehalte sinken weiter, wie das in vielen Feldversuchen und in der landwirtschaftlichen Praxis in den 60iger und 70iger Jahren geschehen ist. Biochemisch sind die Sachverhalte weitgehend klar.

Wirkungen des Stallmistes und der biodynamischen Präparate auf den Bodenstoffwechsel

Neben der Zufuhr von Eiweiß für den Humusaufbau übt der Stallmist eine wichtige qualitative Funktion auf den Bodenstoffwechsel aus, genauso wie die biologisch-dyna-

Tab. 1: Stickstoffgehalte, Reineiweißanteil und der Anteil ess. Aminosäuren in den Wurzeln und der Proteingehalt in 10 dt Wurzel trockenmasse ausgewählter landwirtschaftlicher Kulturpflanzen, Stichproben vorwiegend von Betrieben des ökologischen Landbaus (Daten aus der Diplomarbeit von R. Demmerle 1998)

Wurzelart	N %	Reinprot.-N* %	ess. Aminosäure %	Prot.-N/10 dt TM kg/10 dt TM
Getreide+Gräserwurzeln	0,6 – 0,7	52 – 58	33 – 35	3 – 4
Feldfutterleguminosenwurzeln	1,3 – 3,5	47 – 71	28 – 33	9 – 25

* ohne Tryptophan Analysen von R. Demmerle

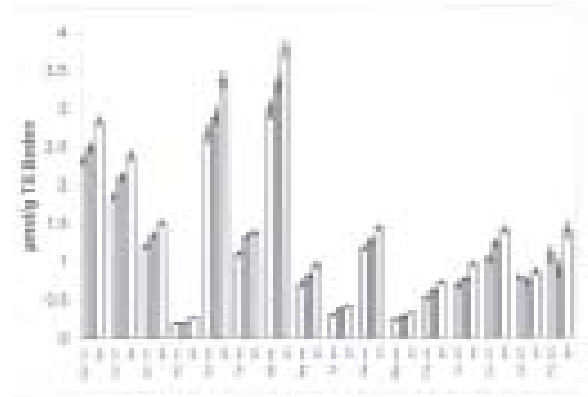
mischen Präparate: Sie fördern den Aufbaustoffwechsel und reduzieren die Veratmung von Stoffen. Das heißt, es wird ein höherer Anteil des zugeführten Eiweißes in den Humus eingebaut und weniger veratmet. Untersuchungen von MÄDER und FLIEßBACH im DOK-Versuch in der Schweiz genauso wie von der japanischen Forschergruppe von AOYAMA und Mitarbeitern zeigen, daß Stallmist den Aufbau größerer Bodenkrümel fördert, während Mineraldünger zu kleineren Krümeln führt. In den beiden Krümelarten ist der Stoffwechsel unterschiedlich. In den kleineren Krümeln wird vorwiegend Substanz abgebaut und veratmet, während in den größeren Krümeln der

Substanzaufbau überwiegt. Diese unterschiedliche Stoffwechselbetonung ist ein weiterer wichtiger Faktor, der zu unterschiedlichen Humusgehalten bei regelmäßiger Stallmistdüngung führt. Die Folge der ausbleibenden Stallmistzufuhr sind kleinere Partikelgrößen im Boden und die Gefahr des Bodenabtrages und der Verschlämzung steigt.

Zusammenfassung und Ausblick

Die höheren Humusgehalte bei regelmäßiger Rindermistdüngung entstehen durch zwei Einflussfaktoren: Über Rindermist werden dem Bodenstoffwechsel Aminosäuren in Eiweißen zugeführt, die

überwiegend in den Humus eingebaut werden. Das Rindermisteiweiß verändert den Eiweißstoffwechsel im Boden qualitativ in Richtung Aufbaustoffwechsel



(Anabolismus), das heißt, es wird weniger von dem zugeführten Eiweiß veratmet und mehr in die organische Substanz des Bodens eingebaut. Die biologisch-dynamischen Kompostpräparate verstärken diesen Prozess. Der Eiweißumsatz im Boden wird außer durch den Stallmist insbesondere durch die Wurzeln der Feldfutterleguminosen stark erhöht und damit auch der Humusgehalt bzw. der Gesamtstickstoffgehalt des Bodens. Rindermist fördert im Verhältnis / Vergleich zum Humusgehalt überproportional die mikrobielle Biomasse und die Aktivität von Bodenenzymen (MÄDER et al. 1993, BACHINGER 1996). Oftmals ändert sich der Humusgehalt nach der Umstellung nur wenig, aber die Bodenfruchtbarkeit nimmt zu. Für die Ertragsbildung und die Qualität ist die Aktivität von entscheidender Bedeutung, weniger der Gesamtstickstoff- oder Kohlenstoffgehalt. Die häufig von viehlos wirtschaftenden Landwirten gestellte Frage, ob die positiven Wirkungen der Rindermistes auf die Bodenfruchtbarkeit durch andere Maßnahmen ersetzt werden können, kann bei dem derzeitigen Stand des Wissens nicht positiv beantwortet werden. ■

Abb. 3: Die Mittelwerte der Gesamtaminosäuregehalte von 16 ausgewählten proteinogenen Aminosäuren im Oberboden der Düngungsarten mineralisch, Stallmist ohne und Stallmist mit den bio. dyn. Präparaten der Großparzelle D im Darmstädter Düngungsversuch (Scheller et al. 1997)

Literatur

Aldag R., Kickuth R. 1973. Stickstoffverbindungen in Böden und ihre Beziehung zur Humusdynamik. Z. Pflanzenern. Bodenk 136, 193-202.
 Aoyama, M., Angers, D. A., N'Dayegamiye, A., 1999: Particulate and mineral associated organic matter in stable aggregates as affected by fertilizer and manure applications. Canadian Journal of Soil Science, 79, 295 – 302
 Aoyama, M., Angers, D. A., N'Dayegamiye, A., Bissomette, N., 2000: Metabolism of ^{13}C -labeled glucose in aggregates from soils with manure application. Soil Biology Biochem. 32, 295 – 300
 Bachinger, J. (1996): Der Einfluß unterschiedlicher Düngungsarten (mineralisch, organisch, biologisch-dynamisch) auf die zeitliche Dynamik und die räumliche Verteilung von bodenchemischen und mikrobiologischen Parametern der C- und N-Dynamik sowie auf das Pflanzen- und Wurzelwachstum von Winterroggen. Schriftenreihe Institut für bio. dyn. Forschung, Bd 7, 25 – 30, 31 – 73, Darmstadt
 Fließbach, A., Mäder, P. 2000: Microbial biomass and size-density fractions differ between soils of organic and conventional agricultural systems. Soil Biol. & Biochem. 32, 757 – 768
 Friedel, J. K., Scheller, E. 2002. Composition of hydrolysable amino acids in soil organic matter and soil microbial biomass. Soil Biology & Biochemistry, 34, 315 – 325
 Mäder, P., Pfiffner, L., Jäggi, W., Wiemken, A., Niggli, U. und Besson, J. M. (1993): DOK-Versuch: Vergleichende Langzeituntersuchungen in den drei Anbausystemen biologisch-dynamisch, organisch-biologisch und konventionell. III.

Boden: Mikrobiologische Untersuchungen. Schweiz. Landw. Forschung 32, 4, 509 – 545
 Rauhe, K., 1990. Ergebnisse und Erfahrungen aus langjährigen Feldversuchen mit organischer Düngung sowie ^{15}N -Anwendung. VDLUFA-Schriftenreihe 30, Kongreßband 1989; 509-516
 Scheffer, F. und Ulrich, B. 1960. Humus und Humusdüngung. Stuttgart
 Scheller E. 1996. Aminosäuregehalte von Ap- und Ah-Horizonten verschiedener Böden und deren Huminsäuren- und Fulvosäuren-Fraktion. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 81, 201-204.
 Scheller, E., Bachinger, J. und Raupp, J. 1997. Einfluß von Mineraldüngung und Stallmist auf die Aminosäuregehalte im Oberboden und auf den Humusaufbau im Darmstädter Düngungsversuch. Beitr. 4. Wiss.-Tagung Ökol. Landbau, Bonn, 63 – 69
 Scheller, E., Friedel, J. K. 2000. Amino acids in soils, humic substances and soil microbial biomass. In: Alföldi, T., Lockert, W., Niggli, U. (Hrsg.): Proceedings of the 13th IFOAM Conference, vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, S 6–9
 Sowden, F. J. 1968. Effect of long term annual addition of various organic amendments on the nitrogenous components of a clay and a sand. Canadian Journal of Soil Science 48, 331 – 339
 Stein-Bachinger, K. (1993): Optimierung der zeitlich und mengenmäßig differenzierten Anwendung von Wirtschaftsdünger im Rahmen der Fruchtfolge organischer Anbausysteme. 118 – 119, Diss. Universität Bonn