

# Forschung

## Dauerversuch Darmstadt

Die organische Substanz des Bodens unter dem Einfluss von Stallmistdüngung und biologisch-dynamischen Präparaten

Dr. Joachim Raupp,  
Institut für biologisch-  
dynamische Forschung,  
Brandschneise 5,  
64295 Darmstadt.

Was hat der Humus im Boden mit dem menschlichen Gedächtnis gemeinsam? – Wir haben bei beidem eine gewisse Vorstellung, was es ist, obwohl kaum jemand ihn (bzw. es) jemals unmittelbar gesehen hat. Wenn wir aber seine Beschaffenheit und Funktionen exakt beschreiben sollen, wird es sehr schwierig. Außerdem bemerkt man von beidem den wirklichen Wert erst dann, wenn es schwindet.

Humus, oder allgemeiner ausgedrückt, die organische Substanz im Boden, ihre Entstehung und Umwandlung sowie die Lebewesen (insbesondere die Mikroorganismen), die damit zu tun haben, gelten zu Recht als verlässliche Anzeichen für den Fruchtbarkeitszustand eines Bodens. Es ist also leicht einzusehen, warum in langjährigen Feldversuchen zum öko-

logischen Landbau, aber auch unabhängig davon in der allgemeinen Agrarforschung, auf die Entwicklung der organischen Substanz und anderer bodenbiologischer Eigenschaften ein besonderes Augenmerk gelegt wird. Ein Beispiel dafür ist der Darmstädter Langzeit-Düngungsversuch, der mittlerweile an unserem Institut seit zwei Jahrzehnten betrieben wird. Ursprünglich angelegt, um die Wirkungen organischer und mineralischer Düngung auf die Gemüsequalität zu vergleichen, wurde er bald zum Objekt für bodenbiologische Untersuchungen. Zu diesen und einer Reihe weiterer Themen gibt es inzwischen über 60 wissenschaftliche Veröffentlichungen, häufig in Zusammenarbeit mit anderen Instituten im In- und Ausland entstanden. Heute stehen zwei Themenbereiche im Vordergrund, die

Ertragsbildung der Kulturpflanzen sowie nach wie vor die organische Substanz im Boden. Im folgenden Beitrag werden hauptsächlich die bodenbiologischen Resultate dieses Versuches berichtet und in diesem Zusammenhang die Bedeutung der Stallmistdüngung und Präparateanwendung für die Humusversorgung und die Pflanzenentwicklung diskutiert.

### Der Darmstädter Langzeit-Düngungsversuch

Im Jahr 1980 wurde an unserem Institut ein Feldversuch angelegt, um drei verschiedene Düngungsarten zu testen: 1. Rottemist, 2. Rottemist gleicher Herkunft und gleichen Alters, aber mit Anwendung der biologisch-dynamischen Düngerpräparate und der beiden Feldpräparate sowie 3. Mineraldüngung. Jede Düngungsart wird in drei verschiedenen Mengen gegeben. Nach einer Umstellung der Fruchtfolge und der Höhe der organischen Düngung im Jahr 1985/86 hat der Versuch die in Tabelle 1 genannte Form, die bis heute nicht verändert worden ist. Das Düngungskonzept beruht nun auf gleichem N-Input mit jeder Düngungsart, damit sich die unterschiedliche Wirkung des organischen und mineralischen Düngers durch deren spezielle Nährstoffverfügbarkeit zeigen kann. Die festgesetzten Gesamt-N-Mengen der drei Stufen entsprechen ungefähr einem Viehbesatz von 0,9 bzw. 1,4 und 1,8 GV/ha.

Da nur die N-Gehalte für die Mengenermittlung der organischen Dünger maßgebend sind, schwän-



Luftbild des Darmstädter Versuchs: Am Beispiel Roggen (oben rechts) sieht man in etwa die Varianten von links nach rechts steigend: Düngungshöhe horizontal: Düngungsvarianten (die mineralische Variante lagert)

ken die Phosphor- und Kaliumgaben in den Rottemistvarianten etwas von Jahr zu Jahr entsprechend der Beschaffenheit des Ausgangsmistes eines Jahres. Durch die natürliche Zusammensetzung des organischen Düngers bedingt ergeben sich zudem in RM und RMBD geringere Phosphor-, aber höhere Kaliumgaben als in den Mineraldüngervarianten. Ein Nährstoffausgleich zwischen den Düngertypen wird nicht vorgenommen. Die einzelnen Kulturen wurden in jedem Jahr auf vier identisch eingeteilten Feldern nebeneinander angebaut.

### Humusgehalte und biologische Aktivität

Die Gehalte an organischer Substanz sind in den Rottemistvarianten durchweg höher als bei Mineraldüngung. Dies gilt für alle vier Felder (Abb. 1). Seit etwa 14 Jahren liegen diese Gehalte ziemlich konstant auf dem jeweils gleichen Niveau. Im Vergleich zur Ausgangssituation zu Versuchsbeginn (1,05% C<sub>org</sub>) konnte nur bei Rottemistdüngung und Anwendung der Präparate der Humuspiegel gehalten werden; ohne die Präparate und erst recht bei Mineraldüngung haben die Gehalte deutlich abgenommen. Die Steigerung der Düngermenge hat nur mit organischer Düngung zu höheren Humusgehalten geführt; bei Mineraldüngung sind die Gehalte in allen Stufen gleich niedrig.

In den Jahren 1988 bis 1991 wurde das mikrobielle Bodenleben intensiv untersucht (Bachinger, 1996). Die Variante mit hohen und stabilen Humusgehalten (RMBD) hatte gleichzeitig die höchste Umsatzungsaktivität (gemessen an den Bodenenzymen Protease und Dehydrogenase) und die größere mikrobielle Biomasse. Das bedeutet, dass in den mit Präparaten versorgten Böden mehr Mikroorganismen lebten und eine höhere

Stoffwechsellätigkeit äußerten als in den anderen Düngungsvarianten. Dies hat offensichtlich nicht nur zum Abbau, sondern auch wieder zum Aufbau neuer organischer Substanz geführt, sonst wäre der Humusgehalt der Präparatevariante über die Jahre hin nicht konstant geblieben. Die mikrobielle Biomasse und die beiden Enzymaktivitäten waren in den Rottemistvarianten im Mittel der drei Untersuchungsjahre um 30 bis 61% höher als bei Mineraldüngung. Wie

thaler, 1978). Leider war keine Variante mit Anwendung der biologisch-dynamischen Präparate dabei. Von jedem Dünger hat man sechsmal (bis 1952) jährlich 200 dt/ha Trockenmasse ausgebracht. In den Stallmistvarianten stieg der Humusgehalt am stärksten an, nämlich von 1,3 auf 2,0% Kohlenstoff, durch den Rottemist sogar auf 2,4% C. Mit Stroh erhöhte sich der C-Gehalt jedoch nur auf ca. 1,8 und mit Gründüngung nur auf 1,6%. Ab 1953 wurde dann in allen Vari-

<b>Varianten:</b>
<b>1. Faktor: Düngerart:</b>
RM = Düngung mit Rottemist und Jauche
RMBD = Düngung mit Rottemist und Jauche mit Anwendung aller biologisch-dynamischer Präparate
MIN = Mineraldüngung (Kalkammonsalpeter, Superphosphat, 50er Kali oder Kalimagnesia)
<b>2. Faktor: Düngermenge:</b>
niedrig: 60 kg N/ha zu Getreide, 50 kg N/ha zu Hackfrucht
mittel: 100 kg N/ha zu Getreide und zu Hackfrucht
hoch: 140 kg N/ha zu Getreide, 150 kg N/ha zu Hackfrucht
<b>Versuchsanlage:</b>
Streifenanlage mit 9 Varianten in 4 Wiederholungen in identischer Form auf 4 Feldern nebeneinander; Parzellengröße: 25 m <sup>2</sup> (brutto).
<b>Fruchtfolge:</b>
1. Rotklee (oder Luzerne oder Perserklee),
2. Sommerweizen,
3. Kartoffeln (oder Möhren),
4. Winterroggen
<b>Standortdaten:</b>
langjährige Mittel: 9,5°C Lufttemperatur und 590 mm Niederschlag pro Jahr; Boden: sandige Braunerde mit 87% Sand, 8% Schluff, 5% Ton im Oberboden.

Versuchsaufbau und einige Standortdaten des Langzeit-Düngungsversuches Darmstadt

in unserem Versuch wurde auch in zwei weiteren Langzeitversuchen in der Schweiz und in Schweden eine höhere Dehydrogenaseaktivität in den Varianten mit Präparateanwendung gefunden (Mäder, 1999).

### Gibt es Unterschiede zwischen Stallmist und anderen organischen Düngern?

Im Jahr 1947 wurde auf dem Versuchsbetrieb Puch (Oberbayern) ein Düngungsversuch begonnen, bei dem die humusaufbauende Wirkung von stark verrottetem Stallmist, strohreinem Stallmist, Stroh und Gründüngung sowie weiteren organischen Düngern geprüft worden ist (Diez & Bach-

anter jegliche organische Düngung eingestellt (nur eine ortsübliche Mineraldüngergabe wurde weiterhin ausgebracht), um zu sehen, wie stabil die in den einzelnen Varianten erreichten Humusniveaus sind. Da keine organische Düngung mehr erfolgte, musste der Humusgehalt unvermeidlich absinken. Nach 23 Jahren Versuchsdauer, d.h. 17 Jahre nach Aussetzen der organischen Düngung, lagen nur noch die Stallmistvarianten im C-Gehalt über dem Ausgangsniveau von 1947, nämlich um 18% (Variante Rottemist) bzw. 7% (Variante strohreiner Mist). In den beiden anderen Varianten war der C-Gehalt unter den Wert

von 1947 gesunken und war um 7 % (Stroh) bzw. um 3 % (Gründüngung) niedriger als damals. Dieser Versuch zeigt, dass der Aufbau eines hohen und relativ beständigen Humusniveaus mit Stallmist besser gelungen ist als mit den organischen Düngern ohne tierische Bestandteile, wobei der Rottemist dem strohreichen Mist noch überlegen war.

Mineraldüngerparzellen festgestellt, was als Hinweis auf die Zufuhr von Aminosäuren durch die Mistdüngung zu sehen ist (Scheller et al., 1997). Man nimmt an, dass die Aminosäuren Ausgangsprodukte für die Entstehung von Humus sind.

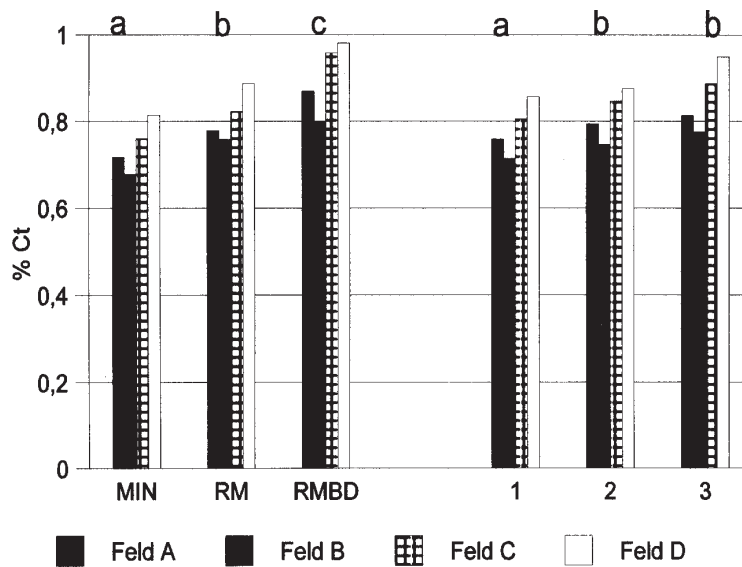
### Wozu ist Humus nützlich?

Die Funktionen der Humussubstanzen im Boden sind sehr viel-

Aufgrund der Effekte auf den Wasser-, Luft- und Nährstoffhaushalt eines Bodens darf erwartet werden, dass Pflanzen auf einem Boden mit guter Humusversorgung und intensiver Humusumsetzung bessere Wachstumsbedingungen haben als in humusarmen Böden. Dies gilt insbesondere für karge Standorte oder Böden auf sehr magerem, ungünstigem Ausgangsgestein. Mit anderen Worten, auf Böden von ausgeglichener Zusammensetzung oder mit einer meterdicken Lößauflage dürfte der Humusgehalt eine geringere Rolle spielen als auf einem reinen Sand- oder Tonboden. Das humusbedingt bessere Wachstum muss sich jedoch nicht automatisch in höheren Erträgen äußern, da das Merkmal Ertrag von vielen Einflüssen abhängt und sich letzten Endes im Zusammenwirken aller ertragsfördernden und -begrenzenden Faktoren bildet. Immerhin sind in einigen Düngungsversuchen auf sandigen Böden Mitteldeutschlands positive Effekte auf Erträge und Ertragskomponenten von Getreide in Varianten mit höherem Humusgehalt festgestellt worden.

In unserem Langzeit-Düngungsversuch war dies jedoch weder mit Weizen noch mit Roggen zu beobachten, jedenfalls nicht an den Durchschnittserträgen über alle Jahre. Die Leistungsfähigkeit eines Anbausystems sollte aber nicht allein nach dem Durchschnittsertrag beurteilt werden, sondern vielmehr danach, wie es mit ungünstigen Situationen zurechtkommt. Unter schlechten Wachstumsbedingungen, das heißt auf unserem Standort vor allem in trockenen Jahren, haben wir mit Sommerweizen deutlich bessere Erträge in den humusreicheren Rottemistvarianten erzielt als mit den mineralisch gedüngten Beständen. Diese erlitten in schlechten Jahren sehr starke Ertragseinbrüche, bis unter

Gehalt an organischem Kohlenstoff im Oberboden nach langjähriger Rottemistdüngung (RM und RMBD) oder Mineraldüngung (MIN) in jeweils drei Stufen (1-3): Ergebnisse von 1999; Werte der Düngungsart oder -menge mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant ( $p < 0,05$ )



Dass die Art der Mistaufbereitung und die Häufigkeit der Anwendung eine wichtige Rolle spielen, geht auch aus der Arbeit von Strauch et al. (1977) hervor. Die Anwendung von Mistkompost alle 3 Jahre bewirkte einen deutlich höheren C-Gehalt als Frischmist im gleichen Abstand gegeben. Mit Frischmist war bei jährlicher Ausbringung die Humus erhaltende Wirkung *deutlich geringer als bei dreijährlicher*. Der Boden ohne organische Düngung lag im C-Gehalt auf gleichem Niveau wie derjenige mit der jährlichen Frischmistgabe.

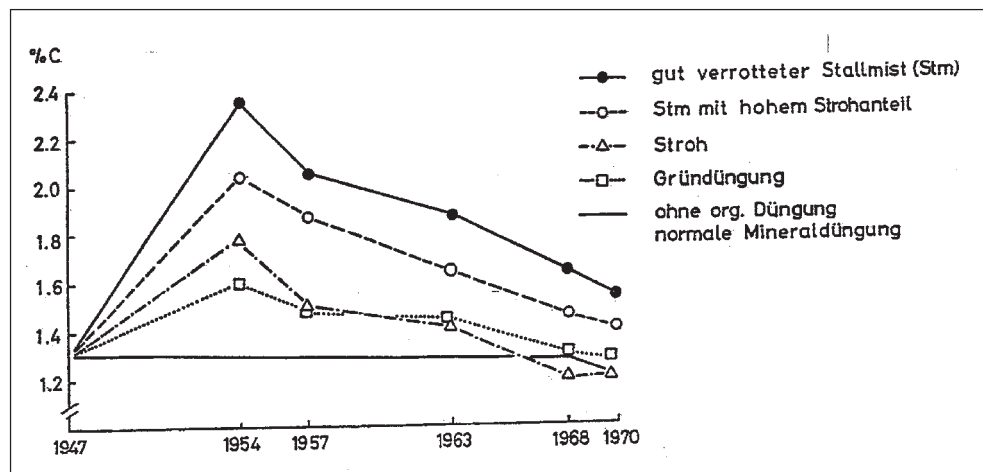
Ein weiterer Hinweis auf die Bedeutung des Stallmistes für die Humussynthese ergibt sich aus unserem Versuch. In den mit Rottemist gedüngten Böden wurden höhere Aminosäuregehalte als in den

fältig und berühren eine Reihe wichtiger Vorgänge des Wasser-, Luft- und Nährstoffhaushaltes eines Bodens (nach verschiedenen Quellen, zit. v. Sauerbeck, 1992):

- allmähliche Freisetzung von Pflanzennährstoffen
- Bindung und Austausch von Pflanzennährstoffen
- Bildung und Erhaltung einer günstigen Bodenstruktur
- Verbesserung der Wasserführung und des Wasserhaltevermögens
- Erhöhung der Bodentemperatur durch Lichtabsorption
- Vermehrung der Filter- und Pufferkapazität
- Immobilisierung von toxischen Substanzen
- fördernde Effekte auf Pflanzen bei suboptimalen Wachstumsbedingungen

20 dt/ha. Der Rottemist-Weizen gab in solchen Jahren bis zu 10 dt/ha mehr Ertrag (Raupp, 1996). Offenbar konnte das System Bodenpflanze durch die Stallmistdüngung die schlechten Umweltbedingungen teilweise kompensieren. Dies könnte beispielsweise durch die höhere biologische Aktivität der Böden erreicht worden sein oder durch die Ausbildung eines stärkeren Wurzelsystems. In der Stallmistvariante mit Präparaten stellte Bachinger (1996) eine größere, stärker verzweigte Wurzelmasse fest als in den anderen Düngungsvarianten. Solche „Nebenleistungen“ der Stallmistdüngung (neben Nährstoffanlieferung und Humusersatz) sollten intensiver erforscht und stärker beachtet werden, denn auf lange Sicht gesehen ist ein Anbausystem, das auch unter widrigen Umständen relativ gute Ergebnisse bringt, die erfolgreichere und tragfähigere Form der Landbewirtschaftung.

An Böden mit unterschiedlicher



Bewirtschaftung (Hackfrucht, Getreidefruchtfolge, Grünland) und Düngung (mineralisch, Stallmist) kann man Unterschiede in der biochemischen Zusammensetzung der organischen Substanz finden (Haider et al., 1991). Die verschiedenen Bewirtschaftungssysteme des DOK-Versuches haben ebenfalls ihre Spuren in einzelnen Fraktionen der organischen Substanz des Bodens hinterlassen (Fließbach & Mäder, 2000). Also ist die

eingangs angeführte Gegenüberstellung nicht bloß ein bildhafter Vergleich? Ist der Humus das Gedächtnis des Bodens? ■

C-Gehalt des Bodens in Abhängigkeit von verschiedenen organischen Düngern und deren Nachwirkung (Quelle: Diez und Bachthaler, 1978)

## Literatur

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. Diss. Univ. Gießen. Schriftenreihe Bd. 7, Institut für biologisch-dynamische Forschung, Darmstadt.  
 Diez, T.; Bachthaler, G.; 1978. Auswirkungen unterschiedlicher Fruchtfolge, Düngung und Bodenbearbeitung auf den Humusgehalt der Böden. Bayer. Landw. Jahrb. 55, 368-377.  
 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.  
 Haider, K.; Gröblichhoff, F.-F.; Beck, T.; Schulten, H.-R.; Hempfling, R.; Lüdermann, H.D.; 1991. Influence of soil management practices on the organic matter structure and the biochemical turnover of plant residues. Proc. Symp. Colchester, UK, 3-4th Sept. 1990; Royal Soc. Chemistry, Cambridge; 79-91.  
 Mäder, P., 1999. Soil organic matter

turnover and soil microorganisms. In: Raupp, J. (ed.), Fertilization Systems in Organic Farming Based on Long-Term Experiments. Publ. Institute for Biodynamic Research, vol. 11; 20-25.  
 Raupp, J., 1996. Yield patterns with organic or mineral fertilization. In: Kristensen, N.H., Høgh-Jensen, H. (eds.): New research in organic agriculture. Proc. vol. 2, 11th Intern. Sci. IFOAM Conf., August 11-15, 1996, Copenhagen, p. 62-69.  
 Sauerbeck, D., 1992. Funktionen und Bedeutung der organischen Substanzen für die Bodenfruchtbarkeit – ein Überblick. Ber. ü. Landw., 206. Sonderheft, Bodennutzung und Bodenfruchtbarkeit, Band 4, Humushaushalt; 13-29.  
 Scheller, E.; Bachinger, J.; Raupp, J.; 1997. Einfluß von Mineraldüngung und Stallmist auf die Aminosäuregehalte im Oberboden und auf den Humusaufbau im Darmstädter Düngungsvergleichsversuch. In: Köpke, U.; Eisele, J.-A. (Hrsg.): Beitr. 4. Wiss.-Tagung Ökol. Landbau, 3.-4. März 1997, Bonn; Verlag Dr. Köster, Berlin; 63-69.  
 Strauch, D.; Baader, W.; Tietjen, C.; 1977. Abfälle aus der Tierhaltung. Ulmer Verlag, Stuttgart.