



Ackerboden mit Gedächtnis?

Zur Nährstoffumsetzung von organischen Düngern im Boden

Leif Nett und Matthias Fink (Großbeeren)

Hat der Ackerboden ein „Gedächtnis“? Wird ein organischer Dünger in einem Boden, der vorher viele Jahre mit diesem Dünger behandelt wurde, schneller umgesetzt als in einem bis dahin ungedüngten Boden? Diese Fragen wurden am Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau in Großbeeren untersucht.

Der Ökologische Landbau ist auf die organische Düngung angewiesen, um die Versorgung der Pflanzen mit Nährstoffen, insbesondere Stickstoff, sicherzustellen. Dabei ist bekannt, dass der langjährige Einsatz von organischen Düngern gegenüber einer rein mineralischen Düngung die organische Substanz und die mikrobielle Biomasse im Boden erhöht. Auch die Zusammensetzung der mikrobiellen Gemeinschaft und oft auch bestimmte Enzymaktivitäten verändern sich. Ungeklärt ist jedoch die Frage, ob diese Änderungen mit einer veränderten Abbaurate neu zugegebener organischer Dünger einhergehen. Eine häufig geäußerte Hypothese ist, dass sich Mikroorganismenpopulationen langfristig an organische Dünger anpassen und daher „bekannte“ Dünger schneller oder effektiver abbauen als „unbekannte“.

Wie viel Stickstoff wird pflanzenverfügbar?

Der Abbau organischer Dünger wird hauptsächlich von Bodenmikroorganismen durchgeführt, die dabei Nährstoffe und Energie nutzen. Nicht genutzte Nährstoffe werden dabei abgegeben und zum Teil pflanzenverfügbar, zum Beispiel als mineralischer Stickstoff (N) in der Bodenlösung. Die Vorhersage der Pflanzenverfügbarkeit dieser Nährstoffe bestimmt die Aufwandmenge der Düngung und ist daher wesentlicher Bestandteil der Düngungsstrategie. Eine überhöhte Düngung führt zu unerwünschten Verlusten von Nährstoffen an die Umwelt, während eine zu geringe Düngung eine Mangelernährung

der Feldfrucht und damit Ertragseinbußen nach sich zieht. Die Geschwindigkeit des mikrobiellen Abbaus organischer Dünger und damit indirekt auch die Verfügbarkeit von Pflanzennährstoffen hängt von einer Vielzahl von Faktoren ab. Dies erschwert die Vorhersage erheblich. Zum einen steuern abiotische Faktoren wie die Bodentemperatur und die Bodenfeuchte die mikrobielle Aktivität, zum anderen sind biotische Faktoren wie die Menge an mikrobieller Biomasse im Boden und die Zusammensetzung der mikrobiellen Population wichtig.

Langzeiteffekte organischer Düngung

Der auffälligste Effekt, der sich nach mehreren Jahren organischer Düngung gegenüber einer rein mineralischen Düngung oder dem Verzicht auf Düngung zeigt, ist die Gehaltszunahme der organischen Substanz des Bodens. Dieser Effekt entsteht dadurch, dass sich ein neues Fließgleichgewicht zwischen Input an organischer Substanz in den Boden und Output von organischer Substanz durch Abbau der vorhandenen organischen Stoffe einstellt.

Mit der Zunahme der organischen Bodensubstanz nimmt in der Regel auch die mikrobielle Biomasse im Boden zu. Darüber hinaus kann es zu qualitativen Veränderungen der Mikrobengemeinschaft im Boden kommen. Die Mikroorganismen adaptieren dabei an die Düngerart und produzieren bestimmte Enzyme, die für den Abbau organischer Substanz erforderlich sind. Deshalb könnte man vermuten, dass ein organischer Dünger im Boden schneller abgebaut wird, wenn sich die Artengemeinschaft der Mikroorganismen in der Vergangenheit bereits darauf einstellen konnte. Es gibt jedoch zahlreiche Untersuchungen, die zeigen, dass sich Mikroorganismen sehr schnell an veränderte Umweltbedingungen anpassen können. Mikroben, die zu einem Zeitpunkt keine guten Bedingungen im Boden zum Überleben vorfinden, sterben nicht vollständig aus, sondern existieren noch in geringer Anzahl und bilden Überdauerungsformen wie zum Beispiel Sporen. Die spannende Frage aus der Sicht des Pflanzenbauers lautet: Hat die beschriebene Anpassung der Mikroorganismen so große Auswirkungen, dass sie bei der Bemessung der organischen Düngung berücksichtigt werden muss? Die Antwort auf diese Frage hängt davon ab, wie lange es dauert, bis sich die mikrobielle Population im Boden an einen neuen organischen Dünger angepasst hat.

Ausgangspunkt für unsere Untersuchungen war die Hypothese, dass eine Anpassung umso länger dauert, je „extremer“ die physikochemischen Eigenschaften des organischen Düngers sind. Ist zum Beispiel das Verhältnis von Kohlenstoff zu Stickstoff im Dünger sehr hoch oder sind diese Nährstoffe in der organischen Substanz sehr stark gebunden, so sind nur wenige spezialisierte Mikroorganismenarten in der Lage, diese Nährelemente zu nutzen. Dies hat vermutlich zur Folge, dass ein Langzeiteffekt organischer Düngung von größerer Bedeutung ist, da erst nach längerer Zeit eine Anpassung der Mikrobenpopulation zu verstärktem Abbau führt. Bei organischen Düngern, die leicht abbaubar sind und daher von einer Vielzahl von Mikroorganismenarten genutzt werden können, wäre nach unserer Hypothese keine große Wirkung der Düngungshistorie zu erwarten.

Abbaustudie im Inkubationsversuch

Die oben geschilderte Frage untersuchten wir in einem Inkubationsversuch. Hierfür wurden Bodenproben von einem Dauerversuch entnommen, der seit über 30 Jahren stark unterschiedlich gedüngt wurde: keine Düngung, Stallmist, Kieferntrockenrinde, Gemüseerterückstände. Diese vier Behandlungen werden nachfolgend als Düngungshistorie bezeichnet. Im Labor wurden diese Böden dann jeweils neu mit Stallmist (Abb. 1), Kieferntrockenrinde oder Gemüseerterückständen (Abb. 2) versetzt oder verblieben als unbehandelte Kontrollvariante. So entstanden aus vier Düngungshistorien in Kombination mit vier aktuellen Düngungsvarianten 16 Varianten. Nach der aktuellen Düngung und einer Wassergehaltseinstellung wurde die Freisetzung von Kohlenstoffdioxid (CO_2), die Menge an mineralischem Stickstoff im Boden (N_{min}) und die mikrobielle Biomasse für fünf Monate bei konstanter Temperatur gemessen. Die CO_2 -Freisetzung wurde kontinuierlich (Abb. 3), N_{min} und die mikrobielle Biomasse an fünf Terminen bestimmt. Die Nettoänderung von N_{min} , die auch als Netto-N-Mineralisierung bezeichnet wird, ist die für die Düngung relevante Größe, da sie die Änderung der Menge an pflanzenverfügbarem Stickstoff repräsentiert.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Netto-N-Mineralisierung am Ende des Inkubationszeitraums im Boden mit historischer Stallmistdüngung am höchsten war, die des Bodens ohne Düngung in der Ver-



Abb. 1. Dauer-Düngungsversuch in Großbeeren nach Ausbringung von Stallmist. Sowohl im ökologischen als auch im konventionellen Landbau kann Stallmist einen wichtigen Beitrag zur Nährstoffversorgung von Pflanzen und Boden leisten. Eine genaue Vorhersage der Mineralisierung von organischen Düngern trägt dazu bei, die Nährstoffverluste an die Umwelt gering zu halten.



Abb. 2. Blumenkohl vor (links) und nach (rechts) der Ernte. Manche Gemüsearten hinterlassen große Mengen an Ernterückständen, da die geernteten Produkte nur einen geringen Anteil der gesamten Pflanzenmasse ausmachen. Die Nährstofffreisetzung aus Ernterückständen muss bei der Düngung der folgenden Kulturen berücksichtigt werden.



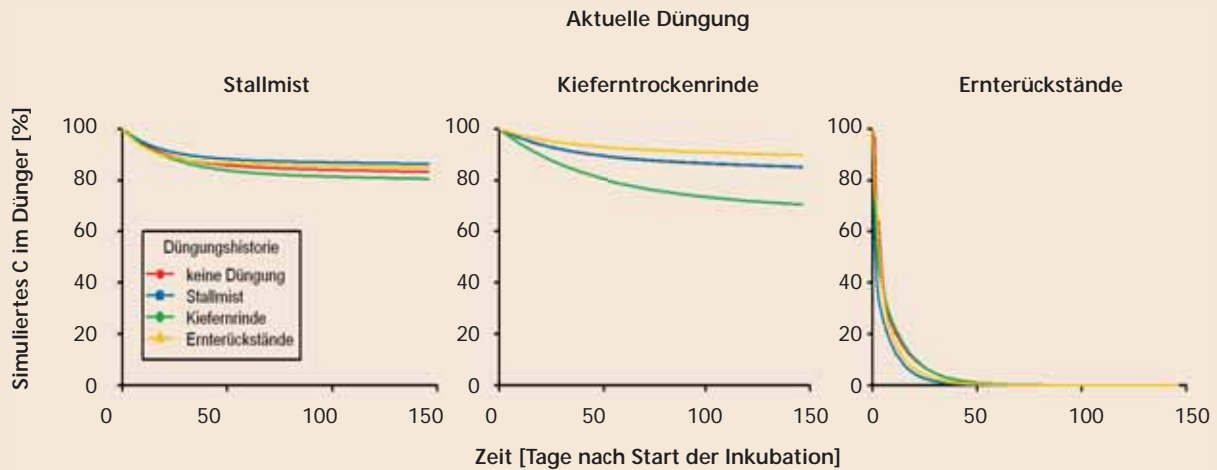
gangenheit am kleinsten und die der beiden anderen Düngungshistorien zwischen den beiden anderen Varianten lagen. Dieser Trend war unabhängig von der aktuellen Düngung im Laborversuch und zeigte sich damit nicht nur in allen Varianten, in denen Dünger neu zugesetzt wurde, sondern auch in der Kontrolle, die keinen Dünger bekam. Das bedeutet, die Unterschiede der Netto-N-Mineralisierung zwischen den Bodenhistorien waren hauptsächlich auf die unterschiedliche Freisetzung von N_{\min} aus „alter“ organischer Bodensubstanz zurückzuführen, während die Freisetzung aus dem neu zugegebenen Düngern nicht von der Düngungshistorie beeinflusst wurde. Die unterschiedliche Freisetzung von N_{\min} aus „alter“ organischer Bodensubstanz war gut mit den Gesamtgehalten an N im Boden korreliert und damit eine Folge der langjährigen Düngungspraxis. Nur in den ersten Tagen nach dem Beginn des Inkubationsversuches traten statistisch signifikante Effekte der Düngungshistorie auf die Netto-N-Mineralisierung von frisch zugegebenen Düngern auf. Diese waren aber von so kurzer Dauer, dass sie für die Bemessung der Düngung nicht praxisrelevant waren.

Die Daten der CO_2 -Freisetzung deuteten darauf hin, dass der C-Abbau von neu zugegebenen Düngern von der Düngungshistorie beeinflusst wurde; nachweisbar war dies drei Monate nach dem

Abb. 3. Messung der CO_2 -Freisetzung im Inkubationsversuch an der Respicond-Anlage (A. Nordgren Innovations AB, Bygdeå, Sweden). Diese Methode ermöglicht die kontinuierliche Messung der CO_2 -Freisetzung für einen Zeitraum von Monaten. Dabei nutzt man die Eigenschaft einer Lauge, unter Bindung von CO_2 proportional an elektrischer Leitfähigkeit zu verlieren.

Abb 4. Abbau von Kohlenstoff (C) aus drei verschiedenen, frisch zugeführten organischen Düngern in Abhängigkeit von der Düngungshistorie.

Die schwer abbaubare Kieferntröcknerinde wird am schnellsten in dem Boden abgebaut, der schon in der Vergangenheit mit Kieferntröcknerinde gedüngt wurde (grüne Linie in der mittleren Abbildung). Die Abbauraten der beiden anderen organischen Dünger werden von der Düngungshistorie nur wenig beeinflusst.



Beginn der Inkubation. Zu diesem Zeitpunkt war von dem C in der Kieferntröcknerinde im Boden, der immer schon Kieferntröcknerinde in der Vergangenheit bekam, mehr abgebaut als in den anderen Boden. Bei neu zugegebenem Stallmist und Ernterückständen gab es keine Unterschiede in der C-Mineralisierung zwischen den Bodenhistorien. Dies ist im Einklang mit unserer Hypothese, dass Anpassungen der Bodenmikroorganismen und damit die Düngungshistorie umso wahrscheinlicher einen längerfristigen Effekt auf die Abbauraten neu zugegebener Dünger haben, je „extremer“ die physikochemischen Eigenschaften des Düngers sind. Zum einen hatte Kieferntröcknerinde ein deutlich weiteres C/N Verhältnis (120) als die anderen beiden Dünger (Stallmist: 14, Gemüseernterückstände: 26) und zum anderen ist Kieferntröcknerinde sehr schwer abbaubar durch den hohen Anteil an Cellulose und Harzen. Die Unterschiede zwischen den Düngungshistorien in der bis zum Ende der Inkubation akkumulierten CO_2 -Freisetzung waren jedoch nicht abhängig von der Art des neu zugegebenen Düngers.

Modellansatz zur Abschätzung der Abbaurate

Die Netto-N-Mineralisierung bzw. die CO_2 -Freisetzung spiegelt die Umsatzrate nur bedingt wieder, da Teile des abgebauten C und N in Bodenmikroorganismen oder toter organischer Bodensubstanz verbleiben und damit nicht als CO_2 oder N_{min} gemessen werden. Da die Umsatzrate direkt nur mit aufwendigen Methoden gemessen werden kann (z. B. mit Isotopenversuchen), nutzten wir einen Modellansatz, um die Umsatzraten zu schätzen. Hierbei verwendeten wir ein mathematisches Simulationsmodell, das die Flüsse von C und N im Boden berechnet. Unter Berücksichtigung unserer Messdaten wurde dann die Abbaurate der Dünger und die Atmungsak-

tivität (CO_2 -Freisetzung) der Mikroorganismen berechnet. Letzterer Parameter ist maßgeblich für die Höhe der N-Immobilisierung, das heißt der N-Fixierung in mikrobieller Biomasse.

Die Güte der Modellanpassung an die gemessenen Daten verbesserte sich deutlich, wenn verschiedene Abbauraten eines Düngers in Böden mit unterschiedlicher Düngungshistorie in der Simulation zugelassen wurden.

Die Ergebnisse der Parameterschätzung deuteten darauf hin, dass die verstärkte CO_2 -Freisetzung aus Kieferntröcknerinde in dem Boden, der schon in der Vergangenheit mit Kieferntröcknerindendüngung gedüngt wurde, auf eine höhere Abbaurate zurückzuführen war und nicht auf eine verringerte C-Ausnutzungseffizienz der Mikroorganismen im Vergleich zu den anderen Düngungshistorien (Abb. 4).

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die Düngungshistorie den Abbau von frisch zugeführten organischen Düngern zwar statistisch signifikant beeinflusste, die Wirkungen jedoch insgesamt gering waren und zum Teil nur von kurzer Dauer. Aus pflanzenbaulicher Sicht waren sie nicht von Bedeutung. Für die Bemessung der organischen Düngung muss die Düngungshistorie des Bodens daher nicht berücksichtigt werden. ■



Dipl.-Geoökol. Leif Nett, Dr. Matthias Fink, Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau Großbeeren/
Erfurt e.V., Abteilung Modellierung und Wissenstransfer,
Theodor-Echtermeyer-Weg 1, 14979 Großbeeren,
E-Mail: nett@igzev.de, fink@igzev.de