

Humusversorgung und Stickstoff im Boden

Die mit der Anwendung organischer Düngemittel einhergehende Humusversorgung des Bodens dient der Aufrechterhaltung und Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit. In den vergangenen Jahren wird zunehmend auch die Funktion des Bodens als Quelle oder Senke von CO₂ diskutiert. Zur Quelle von CO₂-Emissionen kann der Boden u.a. im Zusammenhang mit der Erderwärmung werden, weil Abbauprozesse der organischen Substanz im Böden rascher ablaufen. Andererseits kann der Boden durch gezielten Humusaufbau auch als CO₂-Senke fungieren. Seitens des Grundwasserschutzes wird dabei die Frage gestellt, ob damit unkalkulierbare Stickstoffauswaschungen verbunden sein können. Die vertiefte Auswertung eines 12-jährigen Versuches zum Komposteinsatz hat hierzu erste Antworten geliefert.

Die Humifizierung organischer Substanz im Boden (C_{org}-Stabilisierung) ist stets mit einer Einbindung und Anreicherung von Stickstoff verbunden, der in der organischen Substanz gebunden ist. Dies ist deshalb so, weil die organische Substanz des Bodens ein Verhältnis von Kohlenstoff zu Stickstoff von durchschnittlich etwa 10/1 aufweist. Auf 10 Teile Kohlenstoff kommt also immer auch ein Teil im Boden gebundener Stickstoff. Nicht nur die Pflanzenernährung, auch ein Humusaufbau im Boden ist daher ein wichtiger Bedarfsträger von Stickstoff (N).

Ob und in welchem Umfang mit einer regelmäßigen Kompostdüngung ein Humusaufbau im Boden erreicht werden kann und welche Mengen an Stickstoff damit organisch gebunden werden bzw. in welchen Zeiträumen die gebundenen Mengen an Kohlenstoff und Stickstoff durch Prozesse der Mineralisierung wieder anteilig frei werden, ist inzwischen recht gut bekannt.

In Baden-Württemberg wurden 12-jährige Versuche zur Anwendung unterschiedlicher Komposte im integrierten Ackerbau durchgeführt. Aufgrund der aktuellen Diskussionen über eine aus Gründen des Klimaschutzes anzustrebende C-Sequestrierung in Böden wurden die umfangreichen Versuchsdaten zum Humusaufbau durch Kompostanwendung im Zusammenhang mit dem damit verbundenen N-Umsatz im Boden nachträglich vertieft untersucht. Die Ergebnisse wurden anlässlich des 125. VDLUFA-Kongresses vom 17. bis 25. September in Berlin vorgestellt.

Auswertung 12-jähriger Kompostversuche

Aus den Untersuchungen des Forschungsprojektes des landwirtschaftlichen Technologiezentrums LTZ Karlsruhe-Augustenberg (ehem. LUFA Augustenberg) wurden die Daten zum Humusaufbau der Versuchsböden statistisch weitergehend ausgewertet. Es wurden die 12-jährigen Messreihen der Gehalte von organischem Kohlenstoff (C_{org}) bzw. Gesamtstickstoff (N_t) von drei Versuchsstandorten genutzt. Die eingesetzten drei Kompostarten sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Darüber hinaus wurden durch Einbeziehung von Untersuchungen des N-Entzugs der Pflanzen Aussagen zum pflanzenwirksamen Anteil von Kompost-N abgeleitet.

Detaillierte Angaben zu den Versuchsstandorten, zur Versuchsdurchführung (Fruchtfolge: Mais - W.-Weizen - W.-Gerste, Kompostgaben in 4 Stufen, N-Mineraldüngung in 3 Stufen) und zu den Versuchsmesswerten (für diese Auswertungen die Bodengehalte bzw. -vorräte von C_{org} und N_t in der Ackerkrume sowie die Stickstoffentzüge) sind im LTZ-Bericht (Seite 13) dokumentiert und aus-

Tabelle 1: Kennzeichnung von Eigenschaften und Inhaltsstoffen der eingesetzten Komposte, die für einen Humusaufbau relevant sind.

Komposte	Rottegrad	C _{org} in TS- %	N _t in TS-%	C/N Verhältnis
Biogut-Fertigkompost	4,3	21,2	1,55	13,7
Grüngut-Fertigkompost	4,7	16,3	1,39	11,7
Biogut-Frischkompost	1,8	37,9	2,79	13,6

zugsweise in Tabelle 2 zusammengefasst.

Organischer Kohlenstoff im Boden

Für die Standorte Forchheim und Weierbach, auf denen Fertigkomposte eingesetzt wurden, wurde eine deutliche Wirkung kumulativer Kompostgaben auf die Humusgehalte des Bodens festgestellt. Die mineralische Stickstoffdüngung konnte die in den Kompostvarianten festgestellten Zunahmen des Bodenhumus im jeweiligen Anwendungsjahr leicht verstärken.

	Forchheim	lehmiger Sand	Biogut-Fertigkompost
Standorte und Komposte	Weierbach	schluffiger Lehm	Grüngut-Fertigkomp.
	Stockach	schl.- lehm. Ton	Biogut-Frischkompost
	Ohne Kompost (Kontrolle) Gestaffelte Gaben: 5 t, 10 t und 20 t TM/ha		
Kompost-Gaben	Ohne N-Ergänzungsdüngung Gestaffelte Gaben: 50 % u. 100 % des Düngungsoptimums		
N-Ergänzungsdüngung	Mais / Winter-Weizen / Winter-Gerste		
Fruchtfolge			

Am Standort Stockach hatte die jährlich verabreichte Kompostgabe (hier Frischkompost) für die Zunahme der C_{org} -Gehalte des Bodens eine höhere Relevanz als die kumulierten Kompostgaben. Die jeweilige Jahresgabe an Kompost- C_{org} hatte also eine größere Bedeutung als die kumulierte Kompost-Corg-Menge über den Versuchszeitraum, was auf einen stärkeren mikrobiellen Umsatz der organischen Substanz aus weniger verrottetem Kompost hinweist.

Der Effekt wird bei gleichzeitiger N-Ergänzungsdüngung zusätzlich verstärkt. Dies hatte sich bereits bei den Fertigkomposten auf den Standorten Forchheim und Weierbach gezeigt, war am Standort Stockach (Frischkompost) aber stärker ausgeprägt. Die N-Mineraldüngung kann damit einen positiven Einfluss auf die kurzfristige Kompost- C_{org} -Humifizierung im Boden durch Anpassung an das Boden-C:N-Verhältnis (etwa 10:1) haben.

Insgesamt kann festgestellt werden, dass eine lineare Abhängigkeit der innerhalb von 12 Jahren im Boden angereicherten C_{org} -Mengen von der regelmäßigen Kompostanwendung (d.h. den kumulierten Kompostgaben) besteht. Die durch den Rottegrad ausgedrückte Abbaustabilität der Komposte scheint dabei eine nicht unerhebliche Rolle zu spielen. Die festgestellten Zusammenhänge von mittlerem Rottegrad der Komposte und der Veränderung von Boden- C_{org} -Gehalten sind in Tabelle 3 dargestellt. Die Unterschiede in der Bodenart erwiesen sich für den Humusaufbau durch Kompostanwendung dagegen als wenig bedeutsam.

	Rottegrad gerundet	Rottegrad im Versuchsmittel	Zunahme des Boden- C_{org} in % C_{org} TS
Frischkompost	II	1,8	+ 0,30
Fertigkompost	IV	4,3	+ 0,51
Fertigkompost	V	4,7	+ 0,59

Einfluss von Kompostgaben auf Gehalte an C und N im Boden

Um die drei Komposte nach einheitlichen Kriterien bewerten zu können, wurde bei der vertieften statistischen Auswertung von folgenden Bedingungen ausgegangen:

- Spannbreite der Kompostgaben: 120 - 600 kg Nt je ha alle zwei Jahre
- Anzahl der Gaben in 12 Jahren: 6 Einzelgaben
- mittleres C/N-Verhältnis der Komposte: 14/1

Es wurden vergleichende Betrachtungen zur Ausnutzungsrate von Kompost- C_{org} bzw. -Nt vorgenommen. Für die drei geprüften Komposte sind in Abbildung 1 die Auswirkungen der Zuführung von Kompost- C_{org} auf die C_{org} -Bodengehalte dargestellt.

Es zeigt sich, dass die C_{org} -Stabilisierung im Boden bei der Anwendung von Fertigkompost

höher ausfällt, als bei Frischkompost. Für die drei geprüften Komposte wurden die in Tabelle 4 genannten Wiederfindungsraten festgestellt. Dieser Effekt kann sich zumindest temporär als klimaschutzrelevant erweisen, wenn er mittelfristig aufrecht erhalten wird.

Die Auswirkungen der Zuführung von Kompost-N_t-Gaben auf die Boden-N_t-Mengen sind in Abbildung 2 aufgezeigt. Die N_t-Stabilisierung durch Kompostanwendung war in allen Fällen größer als die C_{org}-Fixierung. Grüngut-Komposte zeigen ein höheres N-Stabilisierungspotenzial im Boden als Biogut-Komposte. Für die drei geprüften Komposte konnten die in Tabelle 5 gezeigten Wiederfindungsraten von Gesamtstickstoff aus den regelmäßigen Kompost-N_t-Gaben über 12 Versuchsjahre nachgewiesen werden.

Ausnutzungsrate von Kompost-N

Alle eingesetzten Komposte zeigten auf den Parzellen ohne Mineraldünger-N-Versorgung statistisch gesicherte Auswirkungen der einzelnen Kompost-N_t-Gaben auf die N-Pflanzenentzüge. Für die geprüften Komposte wurden die in Tabelle 6 genannten Ausnutzungsraten von Gesamtstickstoff im Anwendungsjahr über 12 Versuchsjahre in einer 30 cm mächtigen Ackerkrume festgestellt.

Mineraldüngeräquivalenz von Kompost

Um aus den Ausnutzungsraten von Kompost-N_t beim N-Pflanzenentzug die Mineraldüngeräquivalenz ableiten zu können, wurde die Ausnutzungsrate von Mineraldünger-N ohne Kompostdüngung als Bezugsbasis für die drei Versuchsstandorte ermittelt.

Die Ausnutzungsrate des Mineraldünger-N durch die Nutzpflanzen wurde für die untersuchten Standorte wie folgt abgeschätzt: Standort Forchheim (lehmgiger Sand) 51 %; Standort Weierbach (schluffiger Lehm) 40 %; Standort Stockach (schluffig-toniger Lehm) 58 %. Die langfristige Mineraldüngeräquivalenz der geprüften Komposte kann unter Berücksichtigung der im Versuch festgestellten N-Entzüge der Nutzpflanzen aus der Kompostdüngung abgeleitet werden. Die Ergebnisse finden sich in Tabelle 7.

Tabelle 4: Wiederfindungsraten von organischen Kohlenstoff aus Kompost bei regelmäßiger Kompostdüngung nach 12 Versuchsjahren in der Bodenkrume (0-30 cm).

Komposte	Bodenart	Wiederfindungsrate* Kompost C _{org} %
Grüngut-Fertigkompost	schluffiger Lehm	59 %
Biogut-Fertigkompost	lehmgiger Sand	47 %
Biogut-Frischkompost	schluffiger-lehmgiger Ton	26 %

* Wiederfindungsrate von Kompost-C_{org} nach 12 Jahren im Boden (0-30 cm)

Tabelle 5: Wiederfindungsraten von Gesamtstickstoff aus Kompost bei regelmäßiger Kompostdüngung nach 12 Versuchsjahren in Bodenkrume (0-30 cm)

Komposte	Bodenart	Wiederfindungsrate* Kompost-N _t %
Grüngut-Fertigkompost	schluffiger Lehm	74 %
Biogut-Fertigkompost	lehmgiger Sand	57 %
Biogut-Frischkompost	schluffig-lehmgiger Ton	61 %

* Wiederfindungsrate von Kompost-N_t nach 12 Jahren im Boden (0-30 cm)

Tabelle 6: Mittlere Ausnutzungsraten von in Kompost enthaltenem Gesamtstickstoff für die Pflanzenernährung bei regelmäßiger Kompostdüngung nach 12 Versuchsjahren (Pflanzenentzug im jeweiligen Anwendungsjahr)

Komposte	Bodenart	Ausnutzungsrate* Kompost-N _t %
Grüngut-Fertigkompost	schluffiger Lehm	8 %
Biogut-Fertigkompost	lehmgiger Sand	7 %
Biogut-Frischkompost	schluffig-lehmgiger Ton	13 %

* Ausnutzungsrate von Kompost-N_t zur Pflanzenernährung im jeweiligen Anwendungsjahr

Tabelle 7: Langfristige Mineraldüngeräquivalenz der eingesetzten Komposte bezüglich der Gehalte-N_t

Komposte	Bodenart	Mineraldünger- äquivalenz Kompost % Kompost-N _t
Grüngut-Fertigkompost	schluffiger Lehm	20 %
Biogut-Fertigkompost	lehmgiger Sand	14 %
Biogut-Frischkompost	schluffig-lehmgiger Ton	23 %

Tabelle 8: Verluste von Stickstoff bei regelmäßiger Kompostanwendung

Komposte	Bodenart	Maximale Kompost-N _t -Verluste % Kompost-N _t
Grüngut-Fertigkompost	schluffiger Lehm	6 %
Biogut-Fertigkompost	lehmgiger Sand	19 %
Biogut-Frischkompost	schluffig-lehmgiger Ton	16 %

N-Verluste der Kompostanwendung

Aus der für die geprüften Komposte abgeleiteten langfristigen Mineraldüngeräquivalenz und der N-Stabilisierung im Boden wurden die in den 12 Jahren maximal möglichen N-Verluste der regelmäßigen Kompostdüngung abgeleitet (Tabelle 8).

Mit Verlustraten zwischen lediglich 6 % bis 19 % können Komposte im Hinblick auf die Stickstoffausnutzung als sehr effizient eingeschätzt werden.

Bei der Mineraldüngervariante wurde im Mittel der 3 Standorte ca. 50 % des applizierten Stickstoffs von den Pflanzen aufgenommen. Die anderen 50 % sind entweder als N_{min} im Boden noch vorhanden, oder als Verluste zu rechnen. Der als N_{min} noch vorhandene Anteil konnte aus den Daten nicht sicher abgeleitet werden. Unterstellt man, dass ca. 20 % des applizierten Stickstoffs im Boden verbleiben ohne von den Pflanzenkulturen aufgenommen worden zu sein, wären die übrigen ca. 30 % als Verlust anzunehmen. Im Vergleich dazu zeigen sich Komposte, was ihre Stickstoffausnutzung anbetrifft, mit maximalen Verlustraten von 6 bis 19 % als sehr effizient. Entscheidend für die Effizienz ist die anteilige N-Stabilisierung im Boden.

Fazit

Die Auswertungen aus den 12-jährigen Versuchen des LTZ Augustenberg verdeutlichen die besondere Eignung von Kompost zur mittelfristigen C-Sequestrierung, ohne dass erhöhte N-Freisetzungen zu besorgen sind.

Die N-Pflanzenentzüge werden am stärksten durch die mineralische N-Versorgung beeinflusst. Frischkomposte wirken vorwiegend über die Jahresgaben direkt fördernd auf die N-Entzüge. Fertigkomposte wirken vor allem indirekt über die Erhöhung der organischen Bodensubstanz und deren positive Auswirkungen auf die N-Entzüge, d.h. die Aufnahme durch die Nutzpflanzen.

Es konnte ein direkter Vergleich der N-Entzüge aus Mineraldüngung und Kompostgaben erfolgen, sodass nicht nur die N-Abfuhr über die Nutzpflanzen, sondern auch die Mineraldüngeräquivalenz der Kompost-N-Wirkung quantifizierbar war.

Die statistischen Detailauswertungen zeigen, dass vorwiegend lineare Einflüsse von Kompostgaben bestehen. Auf dieser Basis können einerseits Quantifizierungen der Einflüsse auf die C_{org} - und N_t -Bodengehalte sowie auf die N-Pflanzenentzüge abgeschätzt werden - andererseits sind innerhalb der 12 Versuchsjahre keine Tendenzen in Richtung der Einstellung eines Fließgleichgewichts von Zufuhr und Abbau bei der Humusversorgung mit Komposten erkennbar.

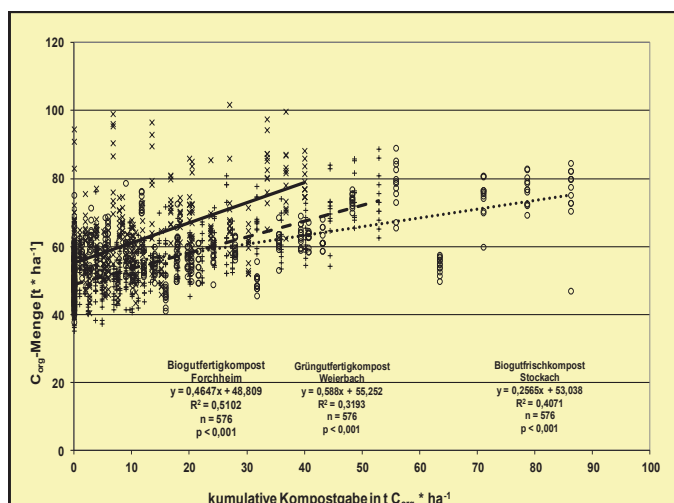


Abbildung 1: + Biogut-Fertigkompost; x Grüngut-Fertigkompost; o Biogut-Frischkompost; -- Linear Grüngut-Fertigkompost; Linear Biogut-Frischkompost

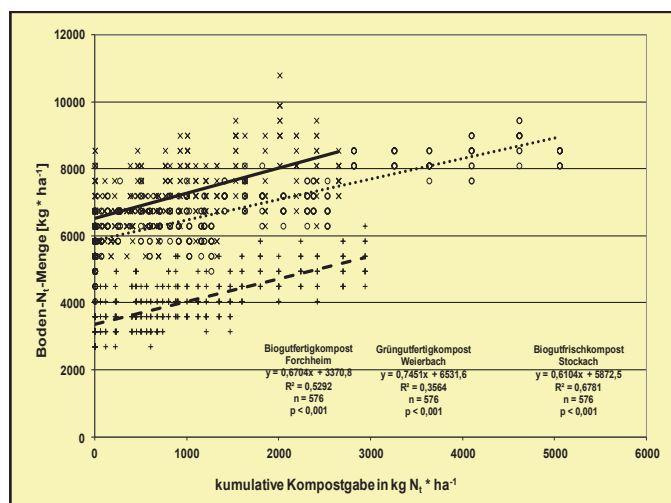


Abbildung 2: + Biogut-Fertigkompost; x Grüngut-Fertigkompost; o Biogut-Frischkompost; -- Linear Grüngut-Fertigkompost; Linear Biogut-Frischkompost