

## **Untersuchungen zur optimalen Produktion und pflanzlichen Verwertung von Biogut- und Grüngutkompost im ökologischen Landbau (Projekt ProBio)**

**Lucie Chmelikova**

### **Zusammenfassung**

Gütegesicherte Biogut- und Grüngutkomposte sind hochwertige organische Dünger, die aufgrund ihres Gehalts an Pflanzennährstoffen und organischer Substanz zur Humus- und Nährstoffversorgung beitragen sowie positiv auf die biologischen und physikalischen Bodeneigenschaften wirken. Komposte können somit die Ertragsfähigkeit der Böden langfristig steigern. Im ökologischen Landbau steigt derzeit das Interesse am Komposteinsatz. Das Einsatzpotenzial der Komposte wird aber nur unzureichend ausgeschöpft. Im Verbundprojekt „Untersuchungen zur optimalen Produktion und pflanzenbaulichen Verwertung von Biogut- und Grüngutkompost im ökologischen Landbau (ProBio)“ werden wissenschaftliche und verfahrenstechnische Grundlagen geschaffen, um gütegesicherte Komposte verstärkt im ökologischen Landbau einzusetzen und eine nachhaltige Wirtschaftsweise zu unterstützen.

### **1 Einleitung**

Im ökologischen Landbau werden möglichst geschlossene Nährstoffkreisläufe angestrebt. Daher steigt das Interesse am Ausbau der Nährstoffrückführung durch Komposteinsatz. Kompost hat nicht nur im Hinblick auf die Nährstoffversorgung, sondern auch hinsichtlich der Humusversorgung einen hohen Wert für die ökologische Landwirtschaft. Das Einsatzpotenzial von Biogut- und Grüngutkompost wird derzeit nur unzureichend ausgeschöpft, obwohl ein hoher Bedarf an Makro- und Mikronährstoffen besteht. Gründe für den geringen Anwendungsumfang sind Bedenken bezüglich möglicher Schadstoffgehalte und Bodenbelastungen, Unsicherheiten und fehlendes Wissen zur Nährstoff- und Humusdynamik nach einer Kompostdüngung, zu phytosanitären Effekten beim Komposteinsatz, zu Wirkungen von Kompost auf Ertrag und Produktqualität sowie zur Logistik und Wirtschaftlichkeit des Komposteinsatzes. Unzureichend untersucht sind ökologische Effekte der Kompostanwendung, z. B. Wirkungen auf Biodiversität, C-Sequestrierung, Energieeffizienz und Treibhausgasflüsse. Seit August 2019 werden diese Themen im Verbundprojekt „Untersuchungen zur optimalen Produktion und pflanzenbaulichen Verwertung von Biogut- und Grüngutkompost im ökologischen Landbau (ProBio)“ untersucht und bearbeitet.

Das Projekt ProBio basiert auf einer engen transdisziplinären Zusammenarbeit von Wissenschaftlern verschiedener Fachgebiete, Beratern, Kompostherstellern und Landwirten. Die Projektkoordination und der Untersuchungsschwerpunkt Kompostwirkungen auf Boden, Pflanzen und Ökologie liegt bei der Technischen Universität München (Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme). Im Bereich Produktion, Logistik, Einsatz und Qualität der Komposte wird auf umfangreiche und langjährige Erfahrungen vom Ingenieurbüro für Sekundärrohstoffe, Abfall- und Kreislaufwirtschaft (ISA-Gottschall) und der Gütegemeinschaft Kompost Region Bayern e. V. (RGK) aufgebaut. Die Kompostakzeptanz und der Informationsfluss werden von GreenSurvey – Institut für Marktforschung untersucht und begleitet. Zusätzlich bringen der Bioland Erzeugerring Bayern e. V. (Bioland) und die Öko-BeratungsGesellschaft mbH (Beratung für Naturland) ihre Beratungskompetenzen in das Vorhaben ein und sichern damit den schnellen Transfer der Projektergebnisse in die Praxis des ökologischen Landbaus. Darüber hinaus gibt es im Projekt sechs Kompostproduzenten als Praxispartner (AVA Abfallverwertung Augsburg KU, Abfallwirtschaftsbetrieb München, Stadtgüter München, RETERRA Humuswerk Main-Spessart, Schernthaner GmbH und T+E Humuswerk GmbH) und drei landwirtschaftliche Partnerbetriebe (Biolandhof Beck, Biolandhof Kreppold und Schloss Gut Obbach).

## **2 Wirkungen von Kompost auf Böden, Pflanzen und Umwelt**

Zur Wirkung von Biogutkompost auf die Nährstoffdynamik von Böden und die Nährstoffaufnahme von Kulturpflanzen liegen langjährige experimentelle Daten vor, jedoch überwiegend für die Bedingungen des konventionellen Landbaus. Die meisten Forschungsarbeiten vergleichen mineralische Dünger mit Kompost (Bulluck et al. 2002, Hartl et Erhart 2005, Eichler-Löbermann et al. 2007, Fecondo et al. 2015, Martínez-Blanco et al. 2013, Hossain et al. 2017) und/oder die Kombination von Kompost und mineralischen Düngern, bzw. Hofdünger und Klärschlamm (Celik et al. 2004, Svensson et al. 2004, Erhart et al. 2007, Cherif et al. 2009, Odlare et al. 2014). Unter den Bedingungen des ökologischen Landbaus wurden nur relativ wenige Versuche zu Komposten angestellt. Oft wurde nur ein Kompost, meist Grüngutkompost (Bruns et al. 2003), mit Wirtschaftsdünger verglichen (Berner et al. 2003). Weiter wurden Mischungen aus Grüngut- und Biogutkomposten (Schulte-Geldermann et al. 2007), die Kombination von Luzerne-Gründüngung und Biogutkompost (Surböck et al. 2017) sowie Präparate und biodynamischer Kompost (Schulz et al. 1995, Carpenter-Boggs et al. 2000) untersucht.

Die wenigen Feldversuche liefern zur Ertragswirkung von Komposten ein inkonsistentes Bild. Die Mineralisierungsleistung und Nährstoffverfügbarkeit, vor allem bei den Grüngutkomposten, aufgrund verschiedener Ausgangsstoffe und Verfahren der Kompostierung zeigen eine große Variabilität (Fuchs 2008). Detaillierte Angaben zu den eingesetzten Komposten, wie Ausgangsmaterialien oder Rottegrade, fehlen oft. Das Wissen um die Bedeutung der mit Kompost zugeführten Nährstoffe, die Nährstoff-

Umsatzdynamik bei kontinuierlicher Anwendung sowie die agronomischen Steuerungsmöglichkeiten sind unzureichend.

In den letzten Jahren steigt auch das Interesse der Landwirte an betriebseigenen Komposten (z. B. aus der mikrobiellen Carbonisierung). Da jeder Betrieb unterschiedliche Ressourcen für die Komposterzeugung hat, entstehen verschiedene Komposte, die vor allem aus Rinder-, Pferde- oder Hühnermist usw. und Grüngut- sowie Holzschnitt bestehen. Untersuchungen der betriebseigenen Komposte sind noch dadurch erschwert, dass die Kompostwirkungen immer auch im Zusammenhang mit den Standortbedingungen und dem Anbausystem, der Fruchtfolge, der Bodenbearbeitung und dem Ertragsniveau stehen.

Der Komposteinsatz hat komplexe Wirkungen auf die Bodenprozesse. Durch Kompost wird die Wasserspeicherfähigkeit der Böden erhöht (Aggelides et al. 1999), der Eindringwiderstand vermindert (Celik et al. 2004) und das Bodengefüge verbessert, was sich positiv auf die Durchwurzelung auswirkt. Höhere Wurzelbiomasse korreliert mit höherer oberirdischer Biomasse (Chmelikova et al. 2015). Gleichzeitig fördert die Kompostzugabe die mikrobielle Biomasse und Diversität der Bodenorganismen (Diacono et al. 2010). Durch die Anreicherung mit organischer Substanz sind die Mikroorganismen in der Lage, relativ lange den Kompost als Nahrungsgrundlage zu nutzen und die Pflanzen dadurch vor Krankheitserregern, z. B. gegen *Rhizoctonia solani* (Schulte-Geldermann et al. 2007), zu schützen.

Anhand der geringen Anzahl von Untersuchungsergebnissen wird deutlich, dass die Stickstoffwirkung von Biogutkomposten im ersten Jahr der Anwendung und in den nächsten Jahren in einem weiten Bereich variieren kann. Aus Sicht der Praxis herrscht Unsicherheit, zu welchen Fruchtarten und Anwendungsterminen in der Fruchtfolge die unterschiedlichen Komposte, vor allem die Grüngut- und Biogutkomposte, einzusetzen sind, um die N-Dynamik im Boden zu steuern und positive Ertragseffekte zu erzielen.

Langzeitversuche müssen umfangreich dokumentiert werden. Neben der Bodenbe-  
probung und den Pflanzenbe-  
probungen müssen auch ausgebrachte Komposte analysiert werden. Gleichzeitig sollen alle verfahrenstechnischen Arbeitsschritte dokumentiert werden. Für die Untersuchungen der Kompostwirkung sind mehrere und komplexe Methoden nötig. Nur durch die Kombination mehrerer Methoden, die auch zu unterschiedlichen Zeitpunkten eingesetzt werden, können die Kompostwirkungen sicher erfasst werden.

Die im Rahmen des ProBio Projekts angelegten Versuche (ein Dauerversuch, drei Streifenversuche bei Landwirten) werden von Anfang an dokumentiert und durch verschiedene Methoden zu mehreren Terminen untersucht. Der Dauerfeldversuch wurde in der Versuchsstation der TUM im Herbst 2017 angelegt. Neben Biogut- und Grüngutkompost (jeweils reife und frische Komposte) werden im Versuch Stallmistkompost, Biogas-Gärreste sowie Kompost aus der mikrobiellen Carbonisierung eingesetzt. Alle Kompostvarianten wurden jeweils mit einer reduzierten N-Gabe (Stufe 1 = 50 %) und einer maximalen N-Gabe (Stufe 2 = 100 %) angelegt. Grundlage für die Bemessung der optimalen N-Düngergabe (Stufe 2) bilden die aktuellen Regeln der novellierten

Düngeverordnung. Die N-Düngergaben werden auf drei Jahre verteilt. In diesem Beitrag werden nur die Ergebnisse der Streifenversuche in landwirtschaftlichen Betrieben präsentiert werden.

## 2.1 Material und Methoden

Im Herbst 2019 und Frühjahr 2020 wurden auf drei landwirtschaftlichen Betrieben in Bayern (Oberbayern, Schwaben und Unterfranken, Tabelle 1) Streifenversuche mit folgenden Kompostvarianten angelegt: reifer Grüngutkompost (GG) und reifer Biogutkompost (BG) aus regionalen Kompostwerken und betriebseigener Kompost (E) (Tabelle 2). Es wurden jeweils Streifen mit zwei Aufwandmengen 180 kg/ha N (= 50 %) und 360 kg/ha N (= 100 %) kg/ha N bezogen auf drei Jahre und eine Kontrolle (Nullvariante) angelegt. Die Untersuchungsstandorte wurden so gewählt, dass unterschiedliche Boden-Klimabedingungen in die Experimente einbezogen sind, um eine entsprechende Übertragbarkeit der Ergebnisse zu sichern.

Tab. 1: Standortparameter der Streifenversuche

	Betrieb 1	Betrieb 2	Betrieb 3
Höhenlage (m ü. NN)	490	500	350
Ø Jahresniederschlag (mm)	670	770	510
Ø Jahrestemperatur (°C)	8,0	8,0	9,0
Bodenart KA 5 VDLUFA (0–30cm)	Ut4 (uL) – Tu4 (tL)	Lu (uL) – tL (Lts)	Lu (uL)
Fruchtart 2020	Ackerbohne	Körnermais	Linse
Fruchtart 2021	Winterweizen	Soja	Dinkel

In die Untersuchungen werden Parameter einbezogen, die sensitiv reagieren und bereits in der Anfangsphase mögliche Veränderungen und Effekte der Komposte zeigen. Jedes Jahr in der Vegetationsperiode werden Boden- und Pflanzenproben zu mehreren Terminen entnommen und im Labor analysiert. Weiter erfolgen Messungen zur N-Aufnahme der Pflanzenbestände mit Sensoren. Bei Leguminosen wird zusätzlich eine Bewertung der Nodulation durchgeführt. Auch der Deckungsgrad des Pflanzenbestandes und die Unkrautvegetation werden aufgenommen.

Die Wirkungen der unterschiedlichen Komposte auf das Bodenleben werden mit Hilfe des Tea Bag Index untersucht. Der Tea Bag Index ist ein Schnellverfahren zur Bestimmung von Abbauraten im Boden. Die Verwendung von Teebeuteln als organische Substanz bietet hierfür eine einfache, standardisierte und kostengünstige Möglichkeit. Gleichzeitig werden diese Methode und die standardisierten Teebeutel weltweit angewandt, was den internationalen Vergleich der Ergebnisse ermöglicht. Dabei werden neue Teebeutel von grünem Tee und von Rooibos-Tee eingegraben und nach 90

Tagen wieder ausgegraben. Die Unterschiede zwischen den Gewichten vor und nach dem Eingraben beschreibt die Abbaurate und damit die mikrobielle Aktivität im Boden. Der Abbau organischer Substanz ist im Ackerbau von großer Bedeutung, da die hierbei freigesetzten Nährstoffe von Bodenorganismen und Kulturpflanzen aufgenommen werden können. Anhand der Zersetzungsrates kann somit auf die biologische Aktivität geschlossen werden. Da diese abhängig von der Art der Bewirtschaftung (z. B. Düngungsart) und Intensität der Bodenbearbeitung ist, bietet diese Information die Möglichkeit, Entscheidungen für die zukünftige Bewirtschaftung zu treffen.

Vor der Versuchsanlage wurden alle Versuche vorbeprobirt, um später die Änderungen der Nährstoffgehalte erfassen zu können. Im Jahr 2022 wurde diese umfangreiche Bodenuntersuchung ( $C_t$ ,  $C_{org}$ ,  $C_{hwl}$ ,  $C_{mik}$ ,  $N_t$ , P, K, pH) erneut durchgeführt.

Tab. 2: Nährstoffgehalte der Komposte in den Streifenversuchen

Betrieb	Komposte	TS (%)	N gesamt (%)	C/N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)
Betrieb 1	Biogutkompost	63,6	1,39	16	0,53	0,67
	Grüngutkompost	61,1	1,16	14	0,58	0,90
	betriebseigener Kompost	42,5	1,34	15	0,42	0,60
Betrieb 2	Biogutkompost	53,1	1,76	19	0,68	0,85
	Grüngutkompost	58,5	1,67	18	0,75	0,54
	betriebseigener Kompost	43,0	1,25	16	0,75	1,22
Betrieb 3	Biogutkompost	72,4	1,57	15	0,77	0,98
	Grüngutkompost	69,5	1,18	14	0,43	0,61
	betriebseigener Kompost	58,7	1,82	29	0,64	1,15

## 2.2 Ergebnisse

In den Streifenversuchen wurden die Erträge der einzelnen Fruchtarten erfasst. Da es sich um Streifenversuche handelt, kann die Heterogenität der Äcker allerdings nicht statistisch berücksichtigt werden.

Im Jahr 2020 wurden Leguminosen (Ackerbohne und Linsen) und Körnermais in den Versuchen angebaut. Die Stickstoffwirkung auf die Ertragsbildung ist bei Leguminosen geringer als bei nichtlegumen Fruchtarten. Durch die Fähigkeit, den Luftstickstoff zu binden, reagieren Leguminosen auf Düngung anders als z. B. Getreide.

Im Betrieb 1 wurden im Jahr 2020 die höchsten Erträge der Ackerbohne in der Biogutvariante (50 %) gefunden. 2021 wurden die höchsten Weizenerträge (Korn) in den Varianten mit betriebseigenem Kompost (50 %), der sich vor allem aus Stallmist zusammensetzt, und in den beiden Biogutkompostvarianten (50 % und 100 %) gemessen.

Im Betrieb 2 wurde im Jahr 2020 Körnermais angebaut. In der Variante mit dem betriebseigenen Kompost wurde sowohl der höchste Biomasse- als auch der höchste Korntrug gemessen (Abbildung 2a). Die niedrigsten Werte wurden in der Kontrolle gefunden. Im Jahr 2021 wurden die höchsten Sojaerträge (Korn) in der ungedüngten Nullvariante und in den Varianten mit Biogutkompost gemessen (Abbildung 2b). Die Ergebnisse zeigen aber auch die große Variabilität der Erträge, die auf die Bodenheterogenität zurückzuführen ist.

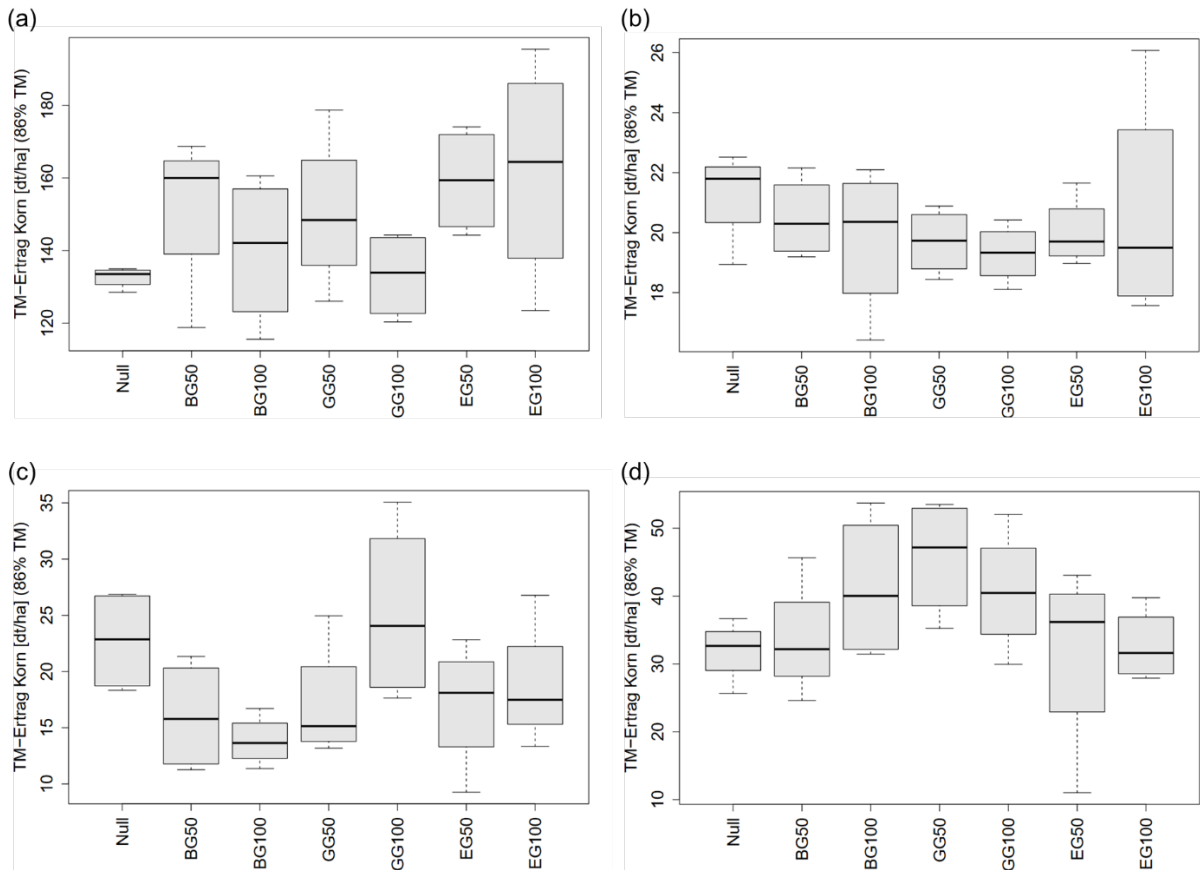


Abb. 2: Ertrag (dt/ha) in den Streifenversuchen auf dem Betrieb 2 (a) Körnermais im Jahr 2020 und (b) Sojabohne im Jahr 2021 und auf dem Betrieb 3 (c) Linsen im Jahr 2020 und (d) Dinkel im Jahr 2021

Im Betrieb 3 wurden im Jahr 2020 Linsen angebaut. Die Ergebnisse zeigen, dass die Korntrüge beim Grüngutkompost (100 %) und in der Kontrollvariante am höchsten waren. Die niedrigsten Werte wurden in der Biogutkompost-Variante (100 %) gemessen. Im Betrieb 3 wurden die höchsten Korntrüge von Dinkel in der Variante mit Grüngutkompost (50 % und 100 %) gefunden, gefolgt von der Variante mit Biogutkompost (100 %).

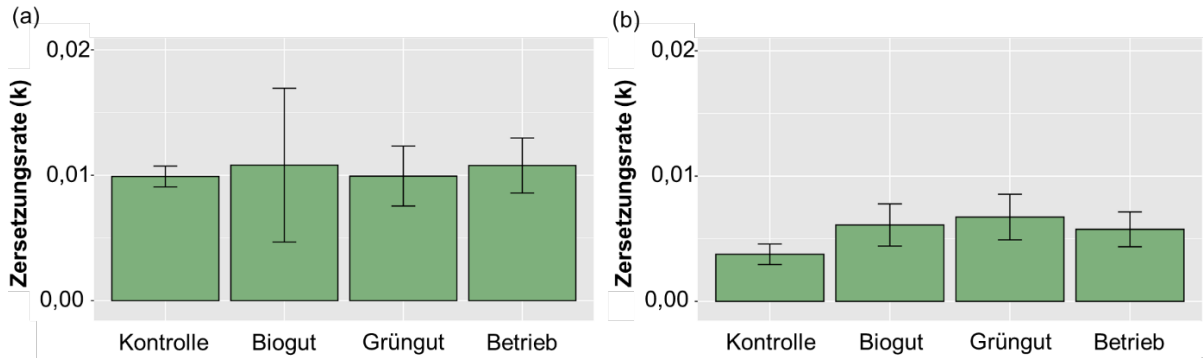


Abb. 3: Tea Bag Index – Einfluss der Kompostart auf mikrobielle Aktivität (Zersetzungsrates  $k$ ) im Boden (a) auf dem Betrieb 2 (Körnermais) und (b) auf dem Betrieb 3 (Linsen) im Jahr 2020

Die Ergebnisse der Tea Bag Index-Methode aus dem ersten Untersuchungsjahr sind in der Abbildung 3 dargestellt. Sowohl auf dem Betrieb 2 als auch auf dem Betrieb 3 zeigen alle Varianten mit ausgebrachten Komposten höhere Zersetzungsrates ( $k$ ) im Vergleich zu der ungedüngten Variante. Auf dem Betrieb 2 mit Körnermais wurden die höchsten Werte in den Varianten mit Biogutkompost und mit dem betriebseigenen Kompost gemessen. Auf dem Betrieb 3 mit Linsen wurden die höchsten Werte in der Variante mit Grüngutkomposten erreicht. Die Erhebungen des Tea Bag Indexes werden jedes Jahr durchgeführt und in Zusammenhang mit den Ergebnissen aus der detaillierten Bodenbeobachtung ( $C_{mik}$ ,  $C_{hwl}$ ,  $N_{hwl}$ ) interpretiert.

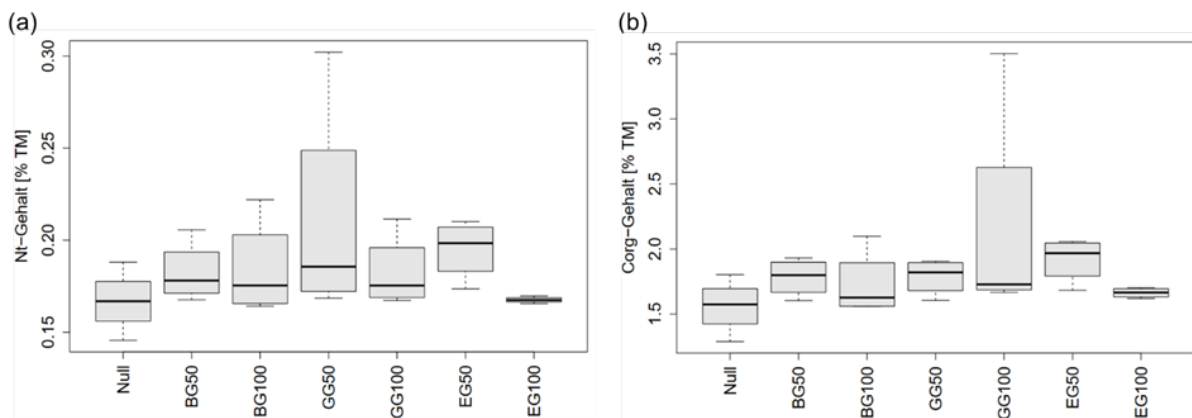


Abb. 4: (a) gesamter Stickstoffgehalt ( $N_t$ ) und (b) organischer Kohlenstoffgehalt ( $C_{org}$ ) im Boden auf dem Betrieb 3 im Jahr 2022

Das erste Ergebnis zum organischen Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt im Boden drei Jahre nach der Kompostausbringung ist beispielweise für Betrieb 3 in der Abbildung 4 dargestellt. Die niedrigsten Werte wurden in den Kontrollvarianten gemessen. Weiter wurden in den gedüngten Varianten höhere Werte in den Varianten mit 50 % Aufwandmengen gemessen.

## 2.3 Diskussion

In diesem Beitrag wurden Wirkungen der unterschiedlichen Komposte auf Erträge, mikrobielle Aktivität sowie Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt im Boden auf drei Standorten unter Praxisbedingungen ausgewertet. Diese ersten Ergebnisse zeigen aber nur bestimmte Tendenzen und Entwicklungen. Um fundierte Aussagen über die Unterschiede zwischen den Kompostvarianten zu treffen, sind ein längerer Zeitraum und weitere Untersuchungen nötig.

Die Literaturangaben weisen zur Größenordnung der Ertragssteigerung durch eine Kompostdüngung eine große Schwankungsbreite auf. So wurden z. B. bei fünf- bzw. zehnjährigen Versuchen in Wien, bei denen ein Kompost aus Grüngut und Biogut in Höhe von 9 bis 23 t FM/ha\*a ausgebracht wurde, lediglich Ertragszuwächse zwischen 4 und 11 % beobachtet (Hartl et al. 2003). In einem zwanzigjährigen Experiment mit Biogutkomposten konnten dagegen sogar durchschnittliche Ertragszuwächse von bis zu 50 % erreicht werden (Diez et al. 1997). Darüber hinaus werden die Ertragseffekte einer Kompostdüngung von der jeweiligen Kultur sowie von deren Nährstoffbedarf und Nährstoffaufnahmedynamik und des Ertragspotenzials des Standorts beeinflusst (Amlinger et al. 2006). Zum Beispiel hat Mais eine lange Vegetationszeit und kann damit stärker als andere Kulturen von der N-Mineralisierung aus den Komposten profitieren (Erhart et al. 2010; Kluge 2008). Auch Komposteigenschaften, wie z. B. das C:N-Verhältnis in Kombination mit der angebauten Fruchtart, können eine große Rolle spielen (Ros et al. 2006). Geringe Ertragseffekte in den Versuchen können auf das trockene Klima zurückgeführt werden, welches für die Kompostmineralisierung weniger günstig ist (Erhart et al. 2005). Zu guter Letzt ist auch die Dauer der Kompostanwendung von großer Relevanz, da die ertragssteigernden Effekte der Komposte erst bei regelmäßiger Kompostdüngung mit der Zeit zunehmen.

Die Biomassebildung wird vor allem durch die unterschiedliche N-Aufnahme und Verfügbarkeit von mineralischem Stickstoff beeinflusst. Sie spiegelt wider, inwiefern sich die verschiedenen Kompostarten hinsichtlich der Bereitstellung von pflanzenverfügbarem Stickstoff unterscheiden. Dies gilt allerdings nicht für Leguminosen, wie Linse und Sojabohne, die durch die symbiotische Stickstofffixierung von Stickstoffdüngung unabhängig sind und ihre höchsten Erträge in den ungedüngten Varianten erreicht haben.

Als wesentliche Ursachen für die Ertragswirkungen sehen Timmermann et al. (2003) die Düngewirkung der Komposte und hier insbesondere die P-, K-, Mg- und Kalkwirkung, die positiven Effekte auf die Bodenstruktur und -biologie sowie die Verbesserung des Wasserhaushalts. Insgesamt wird der Förderung der Bodenbiologie neben der Düngewirkung eine wesentliche Rolle am Gesamteffekt einer Kompostanwendung zugeschrieben (Kluge 2008). Im Gegensatz zur P-, K- und Kalkwirkung der Komposte zeigen sich die Auswirkungen auf die mikrobiologischen Parameter des Bodens allerdings erst mittel- bis langfristig (Kluge et Bolduan 2001).



Bei den Untersuchungen, bei denen die  $C_{org}$ - und  $N_t$ -Gehalte des Bodens zumindest tendenziell zum Teil auch zunahmten, wurden die Komposte über einen längeren Zeitraum zwischen neun und zwölf Jahren (Kluge 2008; Ros et al. 2006) bzw. in deutlich höheren Gesamtmengen (Hartl et al. 2003; Leifeld et al. 1998) ausgebracht.

## 2.4 Schlussfolgerungen

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass Komposte in aller Regel das Wachstum sowie die Biomassebildung der Kulturpflanzen fördern. Für eine Validierung und Vertiefung der Erkenntnisse aus den vorliegenden Praxisversuchen ist eine längere Versuchsdauer notwendig, um trotz der Heterogenität der Standorte eindeutige Aussagen zur Entwicklung der Erträge und der Wirkungen auf die physikalischen, chemischen und biologischen Bodeneigenschaften in den verschiedenen Kompostvarianten treffen zu können. Es ist davon auszugehen, dass einige Effekte auf Böden, Pflanzen und Umwelt erst nach längerer Untersuchungszeit experimentell exakt zu erfassen sind (z. B. Bodenkohlenstoffveränderungen). Allerdings treten auch schon in der Initialphase nach der Versuchsanlage Effekte auf, die von hoher Praxisrelevanz sind (z. B. die Veränderung der N-Dynamik im Boden und die Erhöhung der N-Verfügbarkeit für die Pflanzenbestände sowie der Anstieg der bodenbiologischen Aktivität) und die mit den gewählten Untersuchungsmethoden erfasst werden können.

## Danksagung

Die Förderung des Vorhabens (FKZ: 2818OE009) erfolgt aus Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages. Die Projektträgerschaft erfolgt über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) im Rahmen des Bundesprogramm Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft.

Besonderer Dank gilt allen Praxispartnern, ohne deren Engagement und Unterstützung das Projekt ProBio nicht möglich wäre.

## Literatur

- Aggelides, S. M., Londra, P. A. (1999): Effect of compost produced from town waste and sewage sludge on the physical properties of a loamy and a clay soil. *Bioresour. Technol.* 71: 253–259
- Berner, A., Frei, R., Mäder, P. (2003): Einfluss von biologisch-dynamischen Präparaten, Düngung und Bodenbearbeitung auf Bodenfruchtbarkeit und Ertrag. Projektbericht. Forschungsinstitut für biologischen Landbau Frick

- Bruns, C, Waldow, F., Schüler, C. (2003): Einsatz suppressiver Grünabfallkomposte zur Kulturstabilisierung gegenüber bodenbürtigen Krankheiten im ökologischen Gartenbau. In: Freyer, Bernhard (Hrsg.): Ökologischer Landbau der Zukunft: Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau: 539–540
- Bulluck, L. R., Brosius, M., Evanylo, G. K., Ristaino, J. B. (2002): Organic and synthetic fertility amendments influence soil microbial, physical and chemical properties on organic and conventional farms. *Appl. Soil Ecol.* 19: 147–160
- Celik, I., Ortas, I., Kilic S. (2004): Effects of Compost, Mycorrhiza, Manure and Fertilizer on Some Physical Properties of a Chromoxerert Soil. *Soil. Tillage Res.* 78: 59–67
- Carpenter-Boggs, L., Reganold, J. P., Kennedy, A. C. (2000): Effects of biodynamic preparations on compost development. *Biol. Agric. Hortic.* 17: 313–328
- Cherif, H., Ayari, F., Ouzari, H., Marzorati, M., Brusetti, L., Jedidi, N., Hassen, A., Afonchio, D. (2009): Effects of municipal solid waste compost, farmyard manure and chemical fertilizers on wheat growth, soil composition and soil bacterial characteristics under Tunisian arid climate. *Eur. J. Soil Bio.* 45: 138–145
- Chmelíková, L., Hejcman, M., Schmid, H., Hülsbergen, K.-J. (2015): Seasonal development of biomass yield in grass-legume mixtures on different soils and development of above- and below-ground organs of *Medicago sativa*. *Arch. Agron. Soil Sci.* 61: 329–346
- Diacono, M., Montemurro, F. (2010): Long-term effects of organic amendments on soil fertility. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 30: 401–422
- Diez, T., Krauss, M. (1997): Wirkung langjähriger Kompostdüngung auf Pflanzenertrag und Bodenfruchtbarkeit. *Agribiol. Res.* 50: 78–84
- Eichler-Löbermann, B., Köhne, S., Köppen, D. (2007): Effect of organic, inorganic and combined organic and inorganic P fertilization on plant P uptake and soil P pools. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 107: 623–628
- Erhart, E., Feichtinger, F., Hartl, W. (2007): Nitrogen Leaching Losses under Crops Fertilized with Biowaste Compost Compared with Mineral Fertilization. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 170: 608–614
- Erhart, E., Hartl, W. (2010): Compost Use in Organic Farming. In: Eric Lichtfouse (Hg.): Genetic Engineering, Biofertilisation, Soil Quality and Organic Farming. Dordrecht Heidelberg London New York: Springer Science+Business Media: 311–345
- Erhart, E., Hartl, W., Putz, B. (2005): Biowaste compost affects yield, nitrogen supply during the vegetation period and crop quality of agricultural crops. *Eur. J. Agron* 23: 305–314

- Fecondo, G., Bucciarelli, S., Di Paolo, E., Ghianni, G. (2015): Biowaste compost effects on productive and qualitative characteristics of some field crops and on soil fertility. *Ital. J. Agron.* 10: 85–89
- Fuchs, J. (2008): Wirkung von Kompost und Gärrückstand auf den Boden. *Input* 2/08: 28–30
- Hartl, W., Putz, B., Erhart, E. (2003): Influence of rates and timing of biowaste compost application on rye yield and soil nitrate levels. *Eur. J. Soil Biol.* 39: 129–139
- Hartl, W., Erhart, E. (2005): Crop nitrogen recovery and soil nitrogen dynamics in a 10-year field experiment with biowaste compost. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 168: 781–788
- Hossain, M. Z., von Fragstein und Niemsdorff, P., Hess, J. (2017): Effect of different organic wastes on soil properties and plant growth and yield: a review. *SAB* 48: 224–237
- Kluge, R., Bolduan, R. (2001): Several years application of compost – effects on physical and microbiological properties of soils. In: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft Österreich und Europäische Union (Hg.): *Applying Compost – Benefits and Needs*. Seminar Proceedings. Brüssel: 225–228
- Kluge, R. (2008): Nachhaltige Kompostanwendung in der Landwirtschaft. Abschlussbericht April 2008. Unter Mitarbeit von B. Deller, H. Flaig, E. Schulz und J. Reinhold. Hg. v. Landwirtschaftliches Technologieförderzentrum Augustenberg – LTZ. Karlsruhe
- Martínez-Blanco, J., Lazcano, C., Christensen, T. H., Munoz, P., Rieradevall, J., Moller, J., Anton, A., Boldrin, A. (2013): Compost benefits for agriculture evaluated by life cycle assessment. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 33: 721–732
- Odlare, M., Pell, M., Arthurson, J. V., Abubaker, J., Nehrenheim, E. (2014): Combined mineral N and organic waste fertilization – effects on crop growth and soil properties. *J. Agric. Sci.* 52: 134–145
- Ros, M., Klammer, S., Knapp, B., Aichberger, K., Insam, H. (2006): Long-term effects of compost amendment of soil on functional and structural diversity and microbial activity. *Soil Use Manage* 22: 209–218
- Schulz, D. G., Gmelin, C., Mehrens, A., Sabiwalsky, B., Köpke, U. (1995): Einfluss gesteigerter organischer und mineralischer Düngung und biologisch-dynamischer Präparate auf Ertrag, Qualität und Lagefähigkeit von Kartoffeln. In: Tagungsband 3. Wiss. Fachtagung zum Ökologischen Landbau Universität Kiel, 21.–23.02.1995

- Schulte-Geldermann, E., Schüler, C., Hensel, O., Heß, J., Finckh, M. R., Bruns, C. (2007): Kontrolle von *Rhizoctonia solani* in Kartoffeln mit einer neu entwickelten Reihenapplikationstechnik von suppressiven Komposten. Zwischen Tradition und Globalisierung. 9. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Universität Hohenheim, Stuttgart, Deutschland, 20.–23. März 2007
- Surböck, A., Friedel, J. K., Heinzinger, M., Schweinzer, A., Freyer, B. (2017): Auswirkungen unterschiedlicher Vorfrüchte und Düngungssysteme auf Ertrag und Qualität von Winterweizen. Poster at: 14. Wissenschaftstagung ökologischer Landbau, Campus Weihenstephan, Freising-Weihenstephan, 07.–10. März 2017
- Svensson, K., Odlare, M., Pell, M. (2004): The fertilizing effect of compost and biogas residues from source separated household waste. *J. Agric. Sci.* 142: 461–467
- Timmermann, F., Kluge, R., Bolduan, R., Mokry, M., Janning S., Grosskopf, W., Schreiber, A., Ziegler, W., Koscielniak, N. (2003): Nachhaltige Kompostverwertung in der Landwirtschaft. DBU-Abschlussbericht zum Verbundforschungsprojekt Praxisbezogene Anwendungsrichtlinien sowie Vermarktungskonzepte für den nachhaltigen Einsatz von gütegesicherten Komposten im landwirtschaftlichen Pflanzenbau, Gütegemeinschaft Kompost Region Süd e. V. D-L.