

Nährstoffbilanzen beim Einsatz von alternativen Düngemitteln im ökologischen Gemüsebau

C.S. Weiler¹, S. Sana¹, K. Möller², S. Zikeli¹

¹Zentrum Ökologischer Landbau Universität Hohenheim, Stuttgart

²Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg,
Außenstelle Forchheim, Rheinstetten

1 Einleitung

Ökologisch wirtschaftende Betriebe mit intensivem Gemüsebau sind in der Regel hochspezialisiert, haben größtenteils keine eigene Tierhaltung und sind deshalb stark von externen im ökologischen Landbau zugelassenen Handelsdüngemitteln abhängig. Problematisch bei diesen Düngemitteln ist, dass diese häufig aus Reststoffen der konventionellen Landwirtschaft (z. B. Federmehl, Schweineborsten, Mist aus der intensiven konventionellen Tierhaltung, Vinasse aus der Zuckerherstellung) bestehen, aus dem Ausland importiert werden müssen (Horndünger) oder Rückstände von im ökologischen Landbau nicht zugelassenen Produkten (z. B. Tierarzneimitteln und Pflanzenschutzmitteln) enthalten können. Problematisch kann außerdem vor allem der Einsatz von Mehrstoffdüngemittel wie Festmist oder Kompost sein: Aufgrund einer nicht optimalen Nährstoffzusammensetzung kann eine Düngung mit diesen Düngemitteln zu Nährstoffungleichgewichten führen, da die Nährstoffabfuhr durch die verkauften Produkte nicht der Zufuhr durch den Dünger entspricht. Es kommt dabei vor allem zu einem (relativen) K-Mangel und einem P-Überschuss. Deshalb ist es für diese Gemüsebaubetriebe notwendig, die Nachhaltigkeit ihrer Düngestrategien im Blick zu haben sowie die Vorgaben der Düngeverordnung (kein P-Überschuss (Düngeverordnung (DüV), 2020)) zu beachten. Dies kann durch den Einsatz sogenannter alternativer Düngemittel erfolgen. Alternative Düngemittel sind (I) Klee-grasbasierte Düngemittel, welche innerbetrieblich produziert werden können (z. B. Klee-grassilage) oder aber von anderen externen Quellen bezogen werden können und für den Ökolandbau zugelassen sind (z. B. Klepellets), (II) Biogasgärreste aus ökologischer Produktion oder aus Hausabfall (Biotonne) und (III) Reststoffe aus der ökologischen Lebensmittelindustrie (z. B. Tofumolke). Vor allem durch die

Nutzung von Gärresten aus Haushaltsabfall können die Stadt-Land-Nährstoffkreisläufe geschlossen werden.

Ziel dieser Arbeit ist es, Informationen zu den Erträgen der Hauptkultur Weißkohl und der ersten Folgekultur Spinat sowie den Nährstoffbilanzen (N, P, K, Mg, Ca, S, Cl) der alternativen Düngemittel nach zwei Kulturen zu erhalten.

2 Material und Methoden

Im Rahmen des Projektes „OrganicPlus“ wurden in einem zweijährigen Feldversuch (2019-2020) alternative (vegane) Düngemittel unter ökologischen Anbaubedingungen verglichen. Der Versuch wurde auf der ökologischen Versuchsstation Kleinhohenheim (435 m NN, Ø-Temperatur: 9,7 °C, Ø-Jahresniederschlag: 740 mm, Parabraunerde aus Loess) durchgeführt. Als zweijährige Fruchtfolge wurde Frühkohl (weiß, Amazon F1) als Hauptkultur mit Spinat (Eagle RZ F1) und Winterweizen (KWS Livius) als Folgekulturen angebaut. Die Ziel-N-Düngung zur Hauptfrucht Kohl betrug 220 kg N ha⁻¹. Innerhalb des Versuches wurden die folgenden zehn Behandlungen/Düngemittel getestet: Kontrolle (keine Düngung), Horndünger (100 %, -100 kg N, +100 kg N), Kleegrassilage, Kleepellets, Biogasgärreste aus unterschiedlichen Substraten (Kleegras-Schweinegülle und Bioabfall), Tofumolke und kompostierter Stallmist. Die Varianten Horndünger-100 kg N und +100 kg N wurde nur in 2020 getestet. Der kompostierte Stallmist wurde schon im Herbst des Vorjahres mit pauschal 200 kg N ha⁻¹ ausgebracht, während die anderen Düngemittel vor der Pflanzung oder nach der Pflanzung (nur Tofumolke) ausgebracht wurden. Der Versuch wurde in einem vollständig randomisierten Blockdesign mit 4 Wiederholungen angelegt. Die Hauptkultur Weißkohl wurde mit einem Reihenabstand von 75 cm und Pflanzenabstand in der Reihe von 28 cm gepflanzt und der Spinat wurde mit einem Abstand von 33 cm zwischen den Reihen und 3 cm in der Reihe ausgesät.

Bei der Kohlernte wurde die Gesamtbiomasse von Kopf und Ernterest sowie der Kopfertrag des Kohls in der Kernparzelle (12,5 m²) erhoben, wohingegen bei dem Spinat der Ertrag durch drei Biomasseschnitte von je 0,66 m² je Parzelle erfasst wurde.

Gesamt-N der Düngemittelfrischmasse wurde mittels Kjehldahl-Analyse bestimmt. Für weitere Analysen wurden die Düngemittel gefriergetrocknet und mit einer Rotormühle gemahlen (< 1 mm).

C, N und S in den Düngemitteln und im Pflanzenmaterial wurden nach den Methoden des VDLUFA (2019) mit der Methode 3.5.2.7 sowie nach ISO 15178:2000 mittels Verbrennung analysiert. Für die Bestimmung von P, K, Mg und Ca wurden die Proben nach den Methoden des VDLUFA (2007, 2008 und 2011) nach Mikrowellenaufschluss mit HNO₃ (Methode 2.1.3) durch ICP-OES (Methode 8.10) detektiert und für Cl wurde die Bestimmung mittels Ionenchromatographie (Methode 4.7.2.2) nach Heißwasserextraktion durchgeführt. Die statistische Auswertung des Kohl- und Spinatertrages erfolgte mit dem Verfahren PROC MIXED (SAS Version 9.4., SAS Institute INC., Cary, NC, USA).

Tab. 1: Nährstoffgehalte der verwendeten Düngemittel über zwei Versuchsjahre gemittelt (FM=Frischmasse, TM=Trockenmasse, KG=Kleegras, SG=Schweinegülle, BA=Bioabfall)

Düngemittel	TS	N	NH ₄ -N	N	C:N	P	K	Mg	Ca	S	Cl
	(%)	(g kg ⁻¹ FM)	(g kg ⁻¹ FM)	(g kg ⁻¹ TM)		(g kg ⁻¹ TM)					
Hornspäne	91,48	142,11	15,42	155,34	2,9	3,19	2,60	0,41	7,50	17,62	3,45
Kompostierter Stallmist	25,61	6,25	0,80	24,92	12,7	9,52	24,77	7,55	27,75	5,37	6,26
KG Silage	68,21	14,82	1,61	22,34	19,8	2,87	28,41	2,52	10,27	1,49	1,63
Kleepellets	91,85	29,74	3,22	32,37	13,3	2,58	28,54	2,31	12,50	1,67	3,44
Gärrest (KG-SG)	8,65	6,37	5,25	73,62	5,1	10,54	75,62	5,61	24,30	5,28	13,62
Gärrest (BA)	9,29	5,36	4,24	58,54	4,8	5,68	34,33	7,62	30,20	4,30	10,14
Tofumolke	2,05	1,46	0,17	68,46	5,4	2,42	32,43	3,84	4,64	11,35	9,24

Basierend auf den Ertragsdaten von Weißkohl und Spinat und den Ergebnissen der Inhaltsstoffanalysen konnten die Nährstoffabfuhrer der Erträge berechnet werden. Für die Bilanzierung der Nährstoffe wurden die Abfuhrer der Erntemengen (Kohl und Spinat) mit den Nährstoffzufuhrer für jeden Dünger über zwei Jahre basierend auf den Daten in Tabelle 1 verrechnet.

3 Ergebnisse

Bei dem Ertrag der Gesamtbiomasse (FM) sowie des Kopfertrages (FM) wurden signifikante Unterschiede zwischen den Düngemitteln festgestellt. Die höchsten Erträge wurden bei einer Düngung von HD +100 kg N erzielt und die niedrigsten Erträge in der Kontrolle ohne Düngung. Bei dem Vergleich der Alternativen mit den Standarddüngern Horndünger und kompostierter Stallmist unterschieden sich die Düngemittel Kleepellets, beide Biogasgärreste, sowie die Tofumolke nicht signifikant von den Erträgen der Horndünger-Varianten. Die Düngung mit Kleegrassilage führte zu den niedrigsten Erträgen (Gesamtbiomasse und Kopfertrag) der alternativen Düngemittel und erreichte ein ähnliches Ertragsniveau wie die praxisübliche Düngervariante mit kompostiertem Stallmist. Die Erträge des Spinates als erste Nachfrucht zeigten signifikante Unterschiede zwischen den Versuchsjahren wobei die Erträge in 2019 mit $20,4 \text{ Mg ha}^{-1}$ signifikant höhere waren im Vergleich zu 2020 ($13,9 \text{ Mg FM ha}^{-1}$). Für den Einfluss der Düngemittel wurden keine signifikanten Unterschiede gefunden, wobei die Klee(gras)-basierten Düngemittel im Trend höhere Erträge im Vergleich zur Düngung mit Horndüngern oder kompostiertem Stallmist erreichten.

Die Nährstoffbilanzen zeigten bei allen verwendeten Düngemittel N-Überbilanzen im Bereich von $13,8$ bis $65,8 \text{ kg ha}^{-1}$, wohingegen es bei K in allen Düngemitteln zu Unterbilanzen von $37,3$ zu $275,5 \text{ kg ha}^{-1}$ kam (Abb. 1). Für P wurden leichte Unterbilanzen bei einer Düngung mit Horndüngern, Tofumolke, Kleepellets und Biogasgärrest aus Bioabfall festgestellt, wohingegen die Düngung mit kompostiertem Stallmist zu einer deutliche P-Überbilanz von $54,4 \text{ kg ha}^{-1}$ führte.

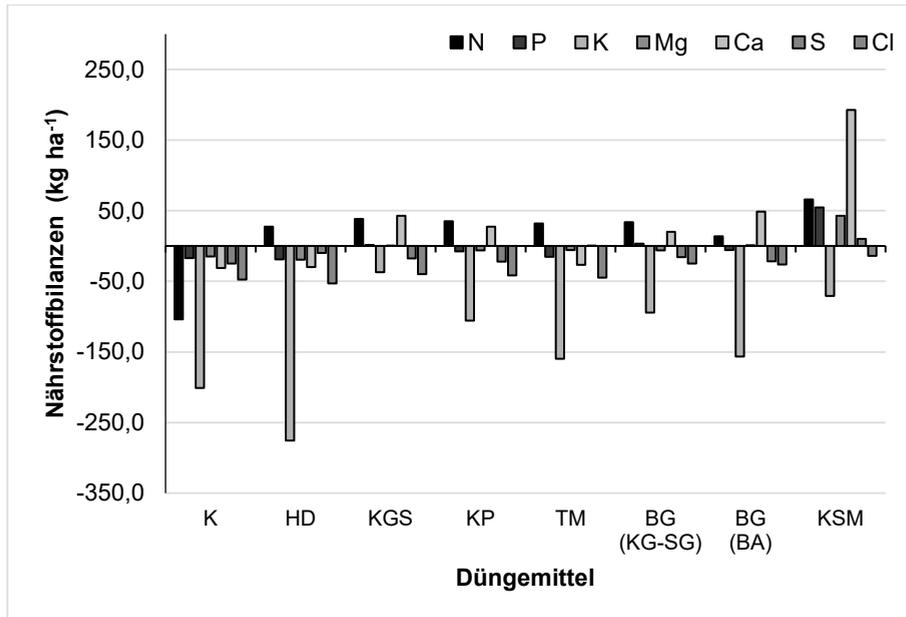


Abb. 1: Nährstoffbilanzen der getesteten Düngemittel (K = Kontrolle, HD = Horndünger, KGS = Kleegrassilage, KP = Kleepellets, TM = Tofumolke, BG (KG-SG) = Biogasgärrest (Kleegrasschweinegülle), BG (BA) = Biogasgärrest (Bioabfall), KSM = Kompostierter Stallmist)

4 Diskussion

Durch den Einsatz von Gärresten und die Verwendung von Reststoffen aus der Lebensmittelproduktion, die ein geringes C:N-Verhältnis sowie einem hohen Anteil schnell verfügbaren Stickstoffes aufwiesen, konnten bei der Hauptkultur Weißkohl ähnliche Erträge wie beim Einsatz von Horndünger erreicht werden. Im Vergleich mit kompostiertem Stallmist, konnten die Alternativen sogar höhere Erträge erzielen. Eine Ausnahme bildete die Düngung mit Kleegrassilage, bei der eine Düngewirkung erst zur Folgekultur festgestellt werden konnte. Die verzögerte Wirkung der Silage und die verminderte Düngewirkung des kompostierten Stallmistes kann auf die hohen C:N-Verhältnisse von 20 und 13 zurückgeführt werden, wodurch der Stickstoff langsamer mineralisiert und deshalb erst später für die Pflanzen verfügbar oder sogar im Boden teilweise immobilisiert wurde (Brust, 2019). Für

die Düngung mit Silage zu Kohl wäre eine vorgezogene Ausbringung (z. B. Herbstausbringung) für eine gezieltere N-Düngung sowie N-Ausnutzung der Hauptkultur vermutlich sinnvoll. Eine Ausbringung von klee grasbasierten Düngemitteln im Herbst ist in der aktuellen Düngemittelverordnung (DüV, 2020) innerhalb des Zeitraumes nach Ernte der Hauptfrucht bis zum 31. Januar des Folgejahres jedoch nicht zulässig, da diese bei N-Gehalt von mehr als 1,5 % N in der Trockenmasse zu den „Düngemitteln mit einem wesentlichen Gehalt an N“ gezählt werden (Düngeverordnung (DüV), 2020; Zikeli et al., 2021). Kleepellets, obwohl sie ein höheres C:N-Verhältnis im Vergleich zur Klee grassilage vorweisen, konnten durch einen größeren Anteil schnell verfügbaren Stickstoffs bereits relativ hohe Erträge bei der Hauptkultur erzielen und zusätzlich die Nachfolgekultur ausreichend mit Nährstoffen versorgen.

Bei allen untersuchten Düngemitteln liegen teilweise hohe K-Unterbilanzen vor. P-Überbilanzen konnten nur beim Einsatz von kompostiertem Stallmist festgestellt werden. Die Klee gras-basierten Düngemittel wiesen ausgewogenere Nährstoffbilanzen und vor allem weniger K-Unterbilanzen im Vergleich zu Horndünger auf. Durch eine Düngung mit Klee grassilage konnte zwar die ausgeglichene Nährstoffbilanz nach zwei Gemüsekulturen erzielt werden, aber beim Ertrag der Hauptkultur Weißkohl erzielte die Silagedüngung die niedrigsten Erträge aller Düngemittel. Bei den Biogasgärresten konnte für die Variante mit Klee gras und Schweinegülle eine ausgewogenere K-Bilanz und bei dem Bioabfall eine höhere N-Ausnutzung festgestellt werden. Die Düngung mit kompostiertem Stallmist führte auch noch nach der zweiten Folgekultur zu deutlichen Überbilanzen, vor allem bei P, Mg und Ca.

5 Schlussfolgerung

Von den untersuchten alternativen (veganen) Düngemitteln konnten die meisten Alternativen hinsichtlich des Ertrages vor allem in der Hauptkultur mit dem Standarddüngemittel im intensiven ökologischen Gemüsebau Horndünger ähnliche Ergebnisse erzielen und sie wiesen dabei ausgeglichene Nährstoffbilanzen (vor allem für K) auf. Ein K-Defizit blieb jedoch bei allen Düngemitteln bestehen und die K-Lücke muss durch eine mineralische im Ökolandbau zugelassene Ergänzungsdüngung (z. B. Patentkali) geschlossen werden. Die langfristigen P-Überschüsse, die bei einer Düngung mit kompostiertem Stallmist im

Gemüsebau auftreten können, sind nicht DüV-konform, entsprechen nicht der guten fachlichen Praxis und erfordern daher im Rahmen der Fruchtfolge einen Ausgleich durch Verwendung P-freier N-Quellen (z. B. Vinasse, Keratine, oder auch durch den Anbau von Leguminosen zur biologischen N₂-Fixierung). Durch den Einsatz der getesteten alternativen Düngemittel könnten diese Überschüsse jedoch reduziert werden.

Um die Nährstoffungleichgewichte langfristig zu beheben, sind die Inputs an N, P und K durch die Kombination unterschiedlicher Düngemittel sowie der Kombination mit einem dazu passenden Anteil an N-Inputs via biologische N₂-Fixierung gleichzeitig zu betrachten, sie bedingen jeweils einander. Je stärker die N/P/K-Ungleichgewichte der verwendeten Düngemittel, desto anspruchsvoller die notwendigen Maßnahmenkombinationen. Weiterhin ist es durch den Einsatz von Reststoffen aus der Biogasanlage oder aus der Lebensmittelindustrie möglich, den Nährstoffkreislauf von Stadt und Land zu schließen.

6 Literaturangaben

Brust, G.E., 2019: Management strategies for organic vegetable fertility. *Safety and Practice for Organic Food*, 193-212.

Düngeverordnung (DüV) 2020: Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmittel nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen 2. Online verfügbar: https://www.gesetze-im-internet.de/d_v_2017/ .

ISO 2000: ISO 15178:2000 - Soil quality - Determination of total sulfur by dry combustion.

Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) 2019: Methode 3.5.2.7, Bestimmung von Gesamt-Stickstoff: Verbrennungsmethode. In: *Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch)*, Bd. II.1, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) 2011: Methode 2.1.3, Mikrowellenbeheizter Druckaufschluss. In: *Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch)*, Bd. VII. VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) 2007: Methode 8.10, Bestimmung von Mikronährstoffen in Düngemittlextrakten, ICP-OES-Methode. In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. II.1, VDLUFA-Verlag Darmstadt.

Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) 2008: Methode 4.7.2.2, Ionenchromatographische Bestimmung von Chlorid. In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. II.2, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Zikeli, S., Sana, S., Gruber, S., Möller, K., 2021: Stickstoffversorgung mit klee grasbasierten Düngemitteln? Lebendige Erde 1, 40-43.

Förderhinweis:

This project received funding from the European Union's Horizon 2020 impact and innovation programme under grant agreement No. 774340.