

Stickstoff-Effizienz und Stickstoff-Bereitstellungskosten von Klee gras-Transferdüngern

Blumenstein B¹, Jalane V², Bruns C² & Möller D¹

Keywords: Klee gras-Transfer, Stoffstrom-Analyse, N-Budget, viehlose Betriebsformen

Abstract

With the increase of stockless organic farm systems the use of clover-grass (CG) for animal feed decreases correspondingly. Nevertheless, clover-grass remains the motor for soil fertility and nitrogen (N) supply in organic agriculture. Considering the disadvantages of mulching with regard to N efficiency, transferring the CG biomass or its joint products becomes increasingly popular. Generally, this implies an improvement of the spatio-temporal flexibility of fertilization. However, N efficiency as well as CG based fertilizer costs may vary considerably depending on the respective CG fertilizer. Therefore, this paper applies an integrated material flow cost accounting (MFCA) approach to compare various CG (transfer) fertilizers with regard to both N efficiency and CG fertilizer/N allocation costs. Mulching CG reveals both lowest N allocation costs and N efficiency. Transfer of fresh CG biomass (cut&carry) is also comparatively cheap but may entail significant N losses and a constrained spatio-temporal applicability in the crop rotation. N losses and costs can significantly be reduced during CG composting by adding suitable co-substrates and controlling the biomass conversion process. CG silage transfer involves higher harvest, storage and field application costs. N allocation costs are rather high in feed-manure-cooperations due to relatively high N losses but may be shared between cooperation partners. Depending on management, anaerobic digestion of CG has a good N efficiency and displays medium allocation costs. In general, higher spatio-temporal fertilizer flexibility also increases CG fertilizer/N allocation costs.

Einleitung und Zielsetzung

Einhergehend mit der Zunahme des Anteils vieharter oder viehloser Betriebe im Ökologischen Landbau (ÖL) ist ein Rückgang der Futternutzung von Klee gras zu verzeichnen (Maaß et al., 2017). Klee gras stellt aber nach wie vor die treibende Kraft der Bodenfruchtbarkeit und N-Bereitstellung im ÖL dar (Berner et al., 2013). Neben dem immer noch weit verbreiteten Mulchverfahrens werden in der Praxis mittlerweile zahlreiche weitere Nutzungsverfahren, die den Transfer der Klee grasbiomasse oder dessen Koppelprodukte (Gärrest, Wirtschaftsdünger) beinhalten, angewandt. Der Klee gras-Transfer führt zu einer Verbesserung der zeitlichen und räumlichen Flexibilität der Düngung (Siegmeier et al., 2015). Allerdings können Nährstoff-Effizienz und Bereitstellungskosten verfahrensabhängig sehr unterschiedlich sein.

Ziel des vorliegenden Beitrags ist es daher, in einer *integrierten ökonomischen und Stoffstrom-Analyse* sowohl die Verfahrenskosten verschiedener Klee gras-Nutzungs-

¹ Universität Kassel, Fachbereich Ökologische Agrarwissenschaften, Fachgebiet Betriebswirtschaft, Steinstr. 19, 37213 Witzenhausen, D, blumenstein@uni-kassel.de, www.uni-kassel.de/agrar/bwl

² Universität Kassel, Fachbereich Ökologische Agrarwissenschaften, Fachgebiet Ökologischer Land- und Pflanzenbau, Steinstr. 19, 37213 Witzenhausen, D

verfahren als auch deren Stickstoff-(N)-Bereitstellung aufzuzeigen und anhand der Kennzahl der *N-Bereitstellungskosten* vergleichbar zu machen.

Methoden

Die Untersuchungen wurden durchgeführt im Rahmen des vom BMEL geförderten Projekts „*Opti KG - Optimierung der internen Kleegrasverwertung in viehlosen Ökobetrieben*“. Es wurden folgende Kleegrasnutzungsverfahren im Rahmen der integrierten ökonomischen und Stoffstrom-Analyse (Material Flow Cost Accounting, Christ & Burritt 2015) betrachtet: *Mulchen*, *Cut&Carry der frisch geernteten Biomasse (Direkttransfer)*, *Kompostierung (KG pur; KG-Substratmix)*, *Silierung (Ballen)*, *Pelletierung*, *Futter-Mist-Kooperation (FMK)* und *Biogasnutzung (Gärrest)*.

Die N-Stoffstrom-Analyse umfasste die N-Fixierleistung des Kleegrases, die N-Verluste entlang der Prozesskette des jeweiligen Kleegras-Düngemittels sowie den N-Anteil, der aus der N-Fixierung als Vorfruchtwert in den Bodenvorrat eingeht. Bei einer Bezugsbasis von 1 ha Kleegras wurde ein Kleegrasertrag von 40 t FM ha⁻¹Jahr⁻¹ bei viermaliger kontinuierlicher Nutzung mit dem jeweils gleichen Verfahren sowie eine standardisierte Mechanisierung (Zugmaschine angepasst an Leistungsbedarf ± 102 kW), Schlaggröße (5 ha) und innere Verkehrslage (3 km) unterstellt. Die entsprechenden Arbeitserledigungskosten basieren sowohl auf im Projekt erhobenen empirischen Daten und Einschätzungen von Praxisbetrieben als auch Daten des KTBL (2022).

Berechnet wurden *i.)* die transferierte N-Menge (kg N), *ii.)* die absoluten Verfahrenskosten (Maschinen, Arbeitserledigung) (€ ha⁻¹ Kleegras), sowie *iii.)* die N-Bereitstellungskosten (€ kg⁻¹ N) (Integration von N-Flüssen und Kosten). Die N-Bereitstellungskosten selbst wurden berechnet *a.)* bezogen auf die bereitgestellte N-Menge frei Wurzel und *b.)* bezogen auf die bereitgestellte N-Menge frei Wurzel und den Bodenvorrat aus der N-Fixierung sowie einer Gutschrift für Werbungsverluste. Für die Austauschverfahren *Futter-Mist-Kooperation* und *Gärrest* wurde eine prozess-äquivalente N-Rückführung unterstellt (d.h. Berücksichtigung von N-Verlusten wie Lagerverlusten während der Lagerung des Futters bzw. des Mistes sowie Verlusten des Metabolismus während des Verdauungs- bzw./Vergärungsprozesses).

Ergebnisse und Diskussion

Der Vergleich verschiedener Kleegras-Transfervorgänge zeigt deutliche Unterschiede bezüglich N-Effizienz und N-Bereitstellungskosten (Abb. 1).

Mulchen (als einziges Nutzungsverfahren ohne Transfer der Biomasse) generiert geringe Arbeitserledigungskosten, weist allerdings eine niedrige N-Bereitstellung aufgrund der potentiell hohen N-Ausgasungsverluste aus der Mulchschicht (bis 30 %) sowie des Rückgangs von sowohl Biomasseertrag als auch N-Fixierleistung des Kleebestands in der Kleegras-Mischung (bis 30 %) (Helmert et al., 2003) auf.

Cut&Carry ist das in diesem Vergleich kostengünstigste Transfervorgang (3,76 bzw. 2,71 € kg⁻¹ N), allerdings können nach dem Ausbringen analog zum Mulchen potentiell hohe gasförmige N-Verluste auftreten. Zudem ist die Düngeflexibilität deutlich eingeschränkt, da die Synchronisation von Biomasseangebot und -bedarf auf der Nehmerfläche nur in sehr eingeschränkten Zeitfenstern im Jahresverlauf möglich ist.

Die hier dargestellte **reine Kleegraskompostierung** liegt mit Kosten zwischen 5 und 8 € kg⁻¹ N im mittleren Kostenbereich der untersuchten Verfahren. Allerdings zeigen die Untersuchungen des Opti-KG-Projekts, dass bei der Kompostierung von Kleegras ohne

Ko-Substrate das Auftreten prozessbedingter N-Verluste von bis zu 50 % möglich ist. Diese können bei einer optimierten Mischung mit Ko-Substraten (Volumenanteil des Kleeegrasses zwischen 25 und 35 % in der Mischung; heterogene und aerobe Substratstruktur; C/N-Verhältnis in der Ausgangsmischung bei rund 30) deutlich auf zwischen 5 und 20 % gesenkt werden, sodass die N-Bereitstellungskosten auf zwischen 4 und 6 € kg⁻¹ N absinken (nicht in Abb. 1 dargestellt). Allerdings müssen dann ggf. Zusatzkosten für (externe) Ko-Substrate sowie der Einfluss der Ko-Substrate auf N-Zufuhr und N-Verluste berücksichtigt werden.

Die **Silierung** des Kleeegrasses ermöglicht ebenso wie der Kleeegraskompost einen raumzeitlich flexiblen Einsatz der Biomasse in der Fruchtfolge. Allerdings muss mit Zusatzkosten für die Konservierung, Lagerung sowie eine aus pflanzenbaulichen Gesichtspunkten notwendige Aufbereitung/Zerkleinerung und Einarbeitung der Silage gerechnet werden.

Trotz der im Vergleich geringsten N-Verluste verzeichnet die **Pelletierung** aufgrund des hohen Verarbeitungsaufwands (hier Transport zu/von Trocknungsanlage und Pelletierung) die höchsten N-Bereitstellungskosten mit bis zu 12,45 € kg⁻¹ N.

Bei der **Futter-Mist-Kooperation** (hier Rinderfestmist) treten N-Verluste insbesondere aus dem Koppelprodukt Mist (Stall, Lagerung), aber auch über den Metabolismus-Entzug der Tiere auf (vgl. Antony et al. 2021). Die im Vergleich der Verfahren eher höheren N-Bereitstellungskosten (bis zu knapp 10 € kg⁻¹ N) sind aber vor dem Hintergrund der Aufteilung auf die Kooperationspartner zu sehen, daher können hier für den Kleeegras abgebenden bzw. Festmist aufnehmenden Betrieb deutlich geringere (N-)Kosten als dargestellt möglich sein.

Die N-Kosten sind bei der **Biogasnutzung** und der Bereitstellung des Koppelprodukts Gärrest mit 4-6 € kg⁻¹ N niedriger als bei der Wirtschaftsdüngerbereitstellung aufgrund potentiell deutlich geringerer N-Verluste im Vergärungsprozess und bei der Lagerung.

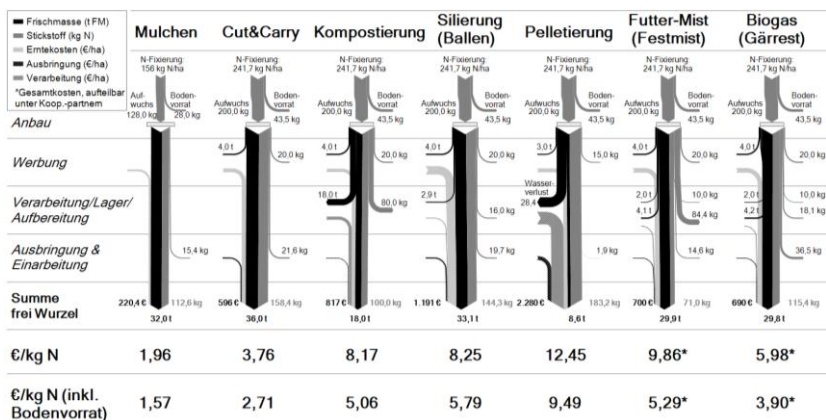


Abbildung 1: Stickstoff-Flow und (N-)Bereitstellungskosten verschiedener Kleeegras-Transferdünger

Schlussfolgerungen

Mit den Vorteilen der zeitlichen und räumlichen Flexibilität des Düngemiteleinsatzes steigen auch die Bereitstellungskosten (die aber durch verbesserte Ertragswirkungen/monetäre Leistungen kompensiert werden können). Kostengünstige Verfahren wie Mulchen oder Cut&Carry sind dagegen deutlichen Einschränkungen bezüglich Einsatzflexibilität und N-Effizienz (und damit schlechterer Ertragswirkung) unterworfen. Positive Zusatzeffekte der Kompostierung und Vergärung sind eine verlustarme Verwertung sowie Hygienisierung von ohnehin (zumeist innerbetrieblich) anfallenden Materialien (Gemüsereste, Wascherde, Grünschnitt, Stroh) als Ko-Substrate bei der Kleeagraskonservierung bzw. der Herstellung von Klee gras-Transferdüngern.

Die einzelbetriebliche Entscheidung für den Einsatz ein oder mehrerer Klee grasdünger hängt selbstverständlich nicht allein von der ökonomischen Bewertung und den hier dargestellten Kennzahlen der N-Effizienz und (N-)Bereitstellungskosten ab. Zusätzlich zu berücksichtigen sind die jeweilige mittel- bis langfristige N-Düngewirksamkeit (N-Einbau in die organische Substanz im Klee gras-Transferdünger) sowie die Synchronisation von Nährstoffangebot (Düngemittel) und Nährstoffbedarf (Nehmerkultur). Darüber hinaus sind die praktischen Implikationen von Ernte- und Ausbringungszeitpunkten der Biomasse in der Fruchtfolgegestaltung sowie bezüglich der Ausbringung die Vorgaben der Düngeverordnung (vgl. DüV 2017) zu beachten. Darüber hinaus spielen in der Praxis arbeitsorganisatorische Aspekte (Vermeidung von Arbeitsspitzen) bei der Wahl des Transferdüngers eine Rolle.

Danksagung

Die Autor*innen bedanken sich beim Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft und dem Projektträger BLE für die Förderung des Projektes *Opti-KG: Optimierung der internen Klee grasverwertung in viehlosen Ökobetrieben* (FKZ: 2818OE023) im Rahmen des BÖL.

Literatur

- Antony F, Teufel J, Liu R, Bieler C, Sutter D, Spescha G, Hartmann W & Schroers J O (2021): Sichtbarmachung versteckter Umweltkosten der Landwirtschaft am Beispiel von Milchproduktionssystemen. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.
- Berner et al. (2013): Grundlagen zur Bodenfruchtbarkeit. Dossier, 2. Auflage, Hrsg: Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL)
- Christ K L & Burritt R (2015): Material flow cost accounting: a review and agenda for future research. *Journal of Cleaner Production* 108: 1378-1389.
- DüV (2017): Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen. [https://www.gesetze-im-internet.de/d_v_2017/]
- Helmert M, Heuwinkel H, Pommer G, Gutser R & Schmidhalter U (2003): N-Flüsse in gemulchtem und geschnittenem Klee gras: Warum Klee gras-Brache im Ökologischen Landbau die Erträge der Folgefrucht nicht erhöht. *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft* 102, 347–348.
- KTBL (2022): Online-Anwendungen des Kuratoriums für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., Darmstadt. www.ktbl.de
- Maaß H, Blumenstein B, Bruns C & Möller D (2017): Alternativen der Klee grasnutzung in vieharmen und viehlosen Betrieben. 14. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Weihenstephan
- Siegmeier T, Blumenstein B & Möller D (2015): Farm biogas production in organic agriculture: System implications. *Agricultural Systems* 139: 196-209.