

ARGE Kreisläufe



KREISLÄUFE SCHLIESSEN

am landwirtschaftlichen Betrieb

Mit Unterstützung von Bund, Ländern und Europäischer Union

 Bundesministerium
Landwirtschaft, Regionen
und Tourismus


LE 14-20
Entwicklung für den ländlichen Raum

Europäischer
Landwirtschaftsfonds für
die Entwicklung des
ländlichen Raums:
Hier investiert Europa in
die ländlichen Gebiete.



● Impressum

Medieninhaber und Herausgeber:

Bio Forschung Austria
Esslinger Hauptstr. 132-134
A-1220 Wien, Österreich
Tel.: +43 1 4000 49 150
E-mail: office@bioforschung.at



AutorInnen:

Dr. Eva Erhart, DI Lisa Doppelbauer, Christoph Reithofer BSc, Karoline Messenböck BSc, Mag. Marion Bonell, Doz. Dr. Manfred Sager (Bio Forschung Austria)
DI Heinz Köstenbauer, Mag. Martina Lepschi, DI Martin Kappel, BEd (Bio Ernte Steiermark)
DI Nadine Hörzinger, Mag. Hans Daxbeck (Ressourcen Management Agentur – RMA)
Ing. Manuel Böhm



Bildrechte:

DI Lisa Doppelbauer, Christoph Reithofer BSc., Karoline Messenböck BSc., Dieter Haas, Johannes Bergsmann, Xaver Diermayr, Dr. Robert Schneider, Ing. Josef Jugovits



Layout: Katharina Sandler MSc (Bio Forschung Austria)

Stand: Juli 2022

Ein herzlicher Dank gilt den ProjektpartnerInnen der ARGE Kreisläufe Ing. Josef Jugovits, Johannes Bergsmann, Xaver Diermayr, Veronika Messenböck, Andreas Kögl, Werner Marzi Biogas Produktions GmbH, Dr. Michael Piatti-Fünfkirchen, Dr. Robert Schneider, sowie den strategischen Partnern Josef Stirnmayr und Dr. Erich Kerngast und den MitarbeiterInnen der LFS Grottenhof, die alle mit ihrem Engagement diese Ergebnisse erst möglich gemacht haben.



Im Rahmen des EIP-AGRI-Projektes **Kreisläufe schließen – Verwertung durch Rückfuhr, Transfer oder Nutzung von organischen Nebenprodukten am landwirtschaftlichen Betrieb** (16.1.1- und 16.2.1-S2-38/19), gefördert durch EU, Bund und Länder im Rahmen des Österreichischen Programms für Ländliche Entwicklung 2014-2020.



Eigenverlag

© Bio Forschung Austria, Wien

Sämtliche Rechte, insbesondere der Vervielfältigung, der Veröffentlichung, der Digitalisierung und des öffentlichen Vortrages bleiben dem Urheber Bio Forschung Austria erhalten. Diese Broschüre darf nur mit Zustimmung von Bio Forschung Austria und nur vollinhaltlich, ohne Weglassung oder Hinzufügung veröffentlicht oder weitergegeben werden.

Diese Broschüre ist downloadbar von www.bioforschung.at.

ISBN 978-3-9502700-7-5



Gedruckt nach der Richtlinie „Druckerzeugnisse“ des Österreichischen Umweltzeichens,
Bösmüller Print Management GesmbH & Co. KG, UW-Nr. 79

● Inhaltsverzeichnis

Nährstoffkreisläufe neu denken	2
Cut & Carry, Transfermulch.	3
Transfermulch: Luzernekleegras in Sonnenblume	4
Cut & Carry – Grünlandaufwuchs auf den Acker.	7
Betriebskooperationen	11
Kleegras – Mist- & Gülle-Kooperation.	11
Luzernekleegras – Biogasgülle – Kooperation.	17
Biogasgülleausbringung in Begrünung	20
Kompostierung	22
Kompostierung von Kleegras mit und ohne Kohlezugabe	22
Mikrobielle Carbonisierung im Vergleich mit Kompostierung	25
Tonausbringung auf sandige Böden	27
Hoftorbilanz bei Milchvieh und Ackerbau.	28
Kleegras: warum nicht einfach mulchen?	32
Entscheidungsbaum Kleegrasverwertung	33
Schlussfolgerungen aus der ökologischen und ökonomischen Analyse.	34
Literatur	35
Nährstoffgehalte verschiedener landwirtschaftlicher Materialien.	36



● Nährstoffkreisläufe neu denken

Die Kreislaufwirtschaft im Gemischtbetrieb mit Viehhaltung ist ein über die Jahrhunderte hinweg erprobtes System der Nährstoffnutzung. Ein großer Teil der Nährstoffe und des Kohlenstoffs im Futter wurde über die organischen Dünger wieder auf die Flächen zurückgebracht. Die zunehmende Spezialisierung der landwirtschaftlichen Betriebe führt dazu, dass heute nur mehr wenige Betriebe einigermaßen geschlossene Nährstoffkreisläufe haben. Heute wirtschaften viele Betriebe in den Ackerbauregionen in Ostösterreich, aber auch in anderen Regionen viehlos und sind von externen Düngemitteln abhängig, die einer immer stärkeren Teuerung unterliegen.

Vielen, vor allem biologisch wirtschaftenden Ackerbaubetrieben, ist die Beibehaltung von Klee gras in der Fruchtfolge ein Anliegen, um die Bodenfruchtbarkeit zu fördern. Der Klee gras aufwuchs birgt ein hohes Nährstoffpotenzial, das häufig ungenutzt bleibt. Weitere am Betrieb oder in der Region anfallende Stoffe können ebenfalls Nährstoffentzüge im landwirtschaftlichen Betrieb teilweise kompensieren.

Innovative Ideen aus der Praxis zeigen, dass Nährstoffe und organische Substanz aus „Reststoffen“ sinnvoll im System gehalten werden können. Dabei muss man eigentlich von „Wertstoffen“ sprechen, wenn man den Nährstoff- und Kohlenstoffgehalt von Klee gras, Grünland aufwuchs, Mist und anderen organischen Materialien in Betracht zieht.

Im EIP-AGRI Projekt „Kreisläufe schließen“ wurden verschiedene innovative Maßnahmen zur Nutzung dieser Wertstoffe am landwirtschaftlichen Betrieb und in der Region in Praxisversuchen getestet und untersucht.

Cut & Carry bzw. Transfermulch bieten die Möglichkeit, Klee gras oder Grünland aufwuchs unmittelbar auf andere Kulturen zu übertragen, als Verdunstungs- und Erosionsschutz, zur Förderung des Bodenlebens, Humusanreicherung und Düngung. Diese Maßnahmen haben allerdings den Nachteil, dass zur selben Zeit ein passendes Nehmerfeld vorhanden sein muss.

Betriebskooperationen mit viehhaltenden Betrieben oder mit Biogasanlagen bieten eine größere zeitliche

Flexibilität. Die organischen Dünger können dann ausgebracht werden, wenn sie am Acker gebraucht werden. Mist entfaltet darüber hinaus auch eine höhere Humuswirkung. Dazu wurden Möglichkeiten zur Optimierung der Mistlagerung und zur bestmöglichen Nutzung der eingetauschten Gülle, wie Ausbringung der Gülle in eine Begrünung und Verdünnung der Gülle getestet.

Mit der Kompostierung können verschiedenste organische Materialien verwertet werden. Sie bietet die Möglichkeit, mit Reststoffen aus der Region zusätzliche Nährstoffe und organische Substanz in den Betrieb hereinzuholen. Nicht selten werden diese Wertstoffe sogar den landwirtschaftlichen Betrieben geliefert, wie z.B. kommunaler Grünschnitt oder Pferdemist. Kompost hat einen sehr hohen Humuswert. Zum Vergleich wurde die Mikrobielle Carbonisierung, eine innovative Methode der Stabilisierung von organischen Materialien unter Sauerstoffmangel, getestet. In einem weiteren Praxisversuch wurde der Frage nachgegangen, welche Auswirkungen die Zugabe von Pflanzkohle bei der Kompostierung hat.

Konsequenterweise wurde auch die Hoftor bilanz eines Gemischtbetriebes mit Ackerbau und Milchviehhaltung im Kompoststall untersucht und berechnet. Wie effizient werden Stickstoff und Kohlenstoff im Betrieb gehalten?

Die untersuchten Beispiele wurden bilanziert und Gewinnung und Transfer der „Kreislaufmaterialien“ nach ökologischen und ökonomischen Kriterien bewertet. Auf der Basis von Inhaltsstoffanalysen aller dieser Materialien wurden Kohlenstoff- und Nährstoffbilanzen erstellt. Die CO₂-Äquivalent- (CO₂e-) Emissionen wurden über Dieselverbrauch, Transportstrecken und Frachtgewichte errechnet. Der Aufwand für die verschiedenen Maßnahmen wurde auf Basis aller Teilprozesse ökonomisch bewertet, also Arbeitszeit und Kosten pro Arbeitsschritt erfasst. Durch die Umrechnung der Kosten pro 1.000 kg Kohlenstoff oder 100 kg Stickstoff konnte die Bewertung ein Stück weit objektiviert werden.

Die vorliegende Broschüre soll Ihnen dabei helfen, auf Basis der im Projekt erarbeiteten Ergebnisse die richtige Kreislaufmaßnahme für Ihren Betrieb zu finden.

• Cut & Carry, Transfermulch

Beim Cut & Carry wird Pflanzenmaterial von einer Geberfläche auf eine Nehmerfläche transportiert. Auf der Nehmerfläche wird der Boden wie üblich bearbeitet und das Pflanzenmaterial ausgebracht. Das Pflanzenmaterial kann als Transfermulch auf der Bodenoberfläche bleiben, um die bekannten Vorteile des Mulchens, wie ausgeglichenerer Wasser- und Wärmehaushalt im Oberboden, Verschlammungsschutz, aktiveres Bodenleben und Unkrautunterdrückung zu erzielen, oder zur Düngung und Bodenverbesserung eingearbeitet werden. Als Mulchmaterial kann frisches oder konserviertes Pflanzenmaterial verwendet werden. Die Anwendung von Transfermulch verbessert optimal die Krümelstruktur des bedeckten Bodens und erhöht seine Belebung massiv, besonders fördert der Mulch Regenwürmer und die Entwicklung von Bodenpilzen.

Wann kommt Transfermulch in Frage?

Transfermulch kann immer dann angewendet werden, wenn passende Nehmer- und Geberflächen vorhanden sind. Vor allem kommen bereits gesäte oder gepflanzte Hauptkulturen als Nehmerflächen in Frage. Besonders konkurrenzstarke Kulturen wie Mais, Sonnenblumen, Kürbis und Erdäpfel eignen sich für Transfermulch. Erdäpfel waren die ersten Ackerfrüchte, in denen in großem Stil mit Mulchabdeckung erfolgreich experimentiert wurde. Für Gemüseplantagen in frisch gemulchten Flächen sind heute eigens dafür entwickelte Pflanzmaschinen mit Schneidscheiben verfügbar.

Als Ausgangsmaterial kommen der Aufwuchs von Klee gras, Luzerne, Dauergrünland, Zwischenfrüchten, Untersaaten, Naturschutzflächen, aber auch leicht holzige Materialien wie Schilf oder frisch geernteter

Miscanthus in Frage.

Je nach Verwertungsidee und Einsatz des Mulchs orientiert sich der Nutzungszeitpunkt ungefähr am Futternutzungszeitpunkt. Je später genutzt wird, umso kohlenstofflastiger und schwieriger zu streuen ist das Erntegut. Für junges Material kann Anwelken lassen in niederschlagsreichen Regionen sinnvoll sein, um Fäulnis im Mulch zu verhindern. Außerdem verringert das Anwelken das Transportvolumen und -gewicht.

Das Material muss so geschnitten bzw. gehäckselt werden, dass eine gute Streufähigkeit gegeben ist. Gleichzeitig soll das Material nicht zu stark in sich zusammenfallen, da es sonst zu einer Mattenbildung kommt. Beim Transfermulch ist in einigen Kulturen auch an die Erntefähigkeit (z.B. Durchgang beim Rodesieb bei Kartoffeln) zu denken. Eine spätere Zerkleinerung des Materials ist nicht möglich, das Material wird aber im Laufe der Zeit sehr mürbe und brüchig und wird je nach C/N-Verhältnis oftmals schneller abgebaut als erwünscht.

Wann kommt Transfermulch nicht in Frage?

Wenn der grüne Aufwuchs zu einer Zeit anfällt, wenn keine Nehmerfläche frei ist, muss eine Konservierung erfolgen. Je später im Jahr, umso mehr macht eine zwischenzeitliche Konservierung Sinn.

Sind im Transfermaterial viele keimfähige Samen von Gräsern oder Beikräutern enthalten, sollte eventuell ebenfalls von einem direkten Transfer abgesehen werden, außer eine nachfolgende Einarbeitung der Keimlinge oder eine Regulierung der Beikräuter ist möglich.



• Transfermulch: Luzernekleegras in Sonnenblume

Transfermulch-Feldversuch bei Josef Jugovits, Schachendorf	
„Wie stark ist der Düngeeffekt des Mulchs auf die aktuelle Kultur?“	
„Wie wirkt sich die Bodenbedeckung auf den Bodenwassergehalt aus?“	
Varianten	V0: ohne Mulch, ohne Kompost
	V1: 70 m ³ Mulch/ha
	V2: 140 m ³ Mulch/ha
	V3: 70 m ³ Mulch/ha + 20 t Kompost/ha
Versuchsablauf	
Anbau	26.4.2021 (HO-)Sonnenblume TUTTI
Luzerneernte	10.6.2021 Häcksler 6 m Schneidwerk
Transfermulch – Parzellenversuch	14.6.2021 Ausbringung Mulch und Kompost, jeweils mit Kompoststreuer

Josef Jugovits bewirtschaftet einen Bio-Ackerbaubetrieb mit Direktvermarktung in Schachendorf im Burgenland, am Übergang der pannonischen Tiefebene zum südöstlichen Hügelland. In den letzten Jahren erhielt der Standort mehrmals weniger als 600 mm Niederschlag pro Jahr. Gleichzeitig treten immer öfter Starkregenereignisse auf, bei denen 40-60 Liter Niederschlag innerhalb von 20 Minuten fallen. Mit dem Transfermulch nutzt Josef Jugovits seine Luzernekleegras-Aufwüchse, um mit diesen schwierigen Klimabedingungen umzugehen.

Die Luzerneernte am Geberfeld erfolgt einmal jährlich mit Direkthäcksler und 22 m³-Kompoststreuer. Das Luzernekleegras wird in 2-3 cm lange Stücke geschnitten und direkt über Gebläse auf Kompoststreuer beladen. Insgesamt drei Züge Traktor+Kompoststreuer waren im Einsatz, damit der extern gemietete Häcksler durchgehend ernten konnte.

Das Luzernekleegras-Häckselgut wurde auf einem ca. 3 km entfernten Sonnenblumen-Nehmerfeld ausgebracht.

Ergebnisse

Zwischen der Transfermulchsausbringung und der ersten Bodenprobenahme zehn Tage später war bei heiß-trockener Witterung kein Niederschlag gefallen. Die Analysen zeigten signifikante Unterschiede im Wassergehalt in 0-30 cm Bodentiefe: Die Variante mit hoher Mulchmenge wies 1 % mehr Wassergehalt auf als jene ohne Mulch. Dies entspricht einer



Luzerneernte mit Direkthäcksler und Kompoststreuer



Ausbringung des Mulchs in Sonnenblume



Frisch gemulchte Sonnenblume

Wassermenge von etwa 6 mm Niederschlag. Fünf Wochen nach der Ausbringung bestand in der obersten Bodenschicht von 0-15 cm noch eine leichte Tendenz zu mehr Wassergehalt in den Mulchvarianten verglichen mit der Nullvariante. Eine zur gleichen Zeit durchgeführte Wachstumsbonitur zeigte einen leicht positiven Effekt der Kompostgabe in Kombination mit Mulch auf das Wachstum der Sonnenblume. Die Variante Mulch+Kompost wies eine durchschnittliche Wuchshöhe von 133 cm pro Pflanze auf, während sich die Nullvariante und die Mulchvarianten mit 127-129 cm kaum unterschieden. Auf den Ertrag der Sonnenblume hatte der Transfermulch im Ausbringungsjahr keinen signifikanten Einfluss.

Die Ergebnisse zeigen, dass Mulch in trockenen Gebieten vor allem in der obersten Bodenschicht unmittelbar wassersparend wirken kann. Eine Düngewirkung auf die gemulchte Kultur im selben Jahr war nicht nachweisbar.

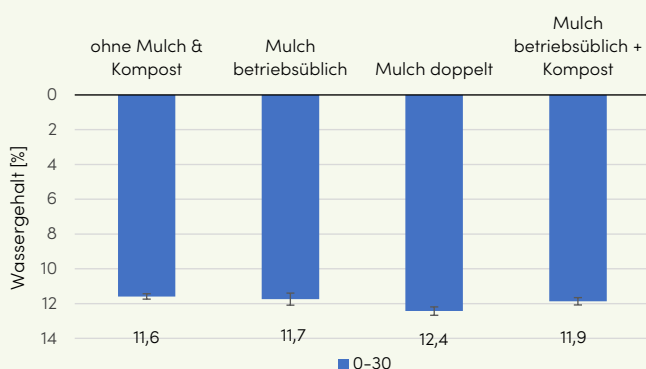
Im Rahmen des Projektes wurde eine Nährstoffbilanzierung durchgeführt, für die die Mengen des Aufwuchses Luzernekleegrass erhoben wurden. Der

einzige Schnitt wurde direkt im Verhältnis 1:1 auf die Nehmerfläche Sonnenblume ausgebracht.

Erfahrungen von Josef Jugovits

Transfermulch in Hackfrüchten ist ein wichtiger Verdunstungsschutz, besonders an Hitzetagen im Frühsommer, wenn die Reihen noch nicht geschlossen sind. Zugleich ist der Mulch ein wichtiger Bodenschutz bei Starkregenereignissen, wo es bei vielen anderen Äckern bei Hackfrüchten den kostbaren Oberboden davonschwemmt. Wichtig ist auch der Kohlenstoffeintrag von über 1000 kg/ha. Die Nährstoffwirkung (nicht nur von Stickstoff!) und Humuswirkung von Mulch muss aber langfristig betrachtet werden. Dass die Nullvariante ertraglich voll mit den Mulchvarianten mithält zeigt das solide Nährstoffniveau, das ich über Jahrzehnte auf meinen Äckern aufgebaut habe.

Wassergehalt im Boden



Wassergehalt im Boden (0-30 cm Tiefe) am 21.6.2021. Der Unterschied von 1 % zwischen hoher Mulchmenge und ohne Mulch ist statistisch signifikant.

Nährstoffmenge pro Hektar Geberfeld bzw. Nehmerfeld

Am Geberfeld abgeführte und dem Nehmerfeld zugeführte Nährstoffmengen je Hektar (1 Schnitt/Jahr, Flächenverhältnis 1:1)

Frish-masse	Trocken-masse	C	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	B	Cu	Zn	Fe	Mn	Mo
[kg]													
17359	3786	1686	77	21	115	46	8	0,07	0,03	0,08	1,07	0,19	<0,01

Ökologische und ökonomische Bewertung

Für die Bewertung wurden die aus der Verbrennung fossiler Energieträger entstehenden Treibhausgasemissionen, die Arbeitsdauer und die kalkulatorischen Kosten berechnet und bewertet^{4, 8, 11, 12, 14, 15}.

Um 1.000 kg Kohlenstoff auf das Nehmerfeld zu transferieren, wurde eine Geberfläche von 0,6 ha bewirtschaftet, ca. 10 t Klee gras (Frischmasse) geerntet und eine Transportstrecke mit Frachtgewicht (inkl. der leeren Rückfahrt) von knapp 11 km zurückgelegt. Gleichzeitig wurden knapp 46 kg im Mulchmaterial gebundener Stickstoff von der Geberfläche auf die Nehmerfläche transferiert.

Dabei wurden insgesamt 203 kg CO₂-Äquivalente (CO₂e) Emissionen durch die Maschinen- und Transportprozesse verursacht. Das Häckseln verursachte mit 133 kg CO₂e rund 65 % der Gesamtemissionen. Der Transport des

Mulchmaterials emittierte mit 32 kg CO₂e knapp 16 % der Gesamtemissionen, die Ausbringung des Mulchmaterials trug mit 23 kg CO₂e ca. 11 % dazu bei.

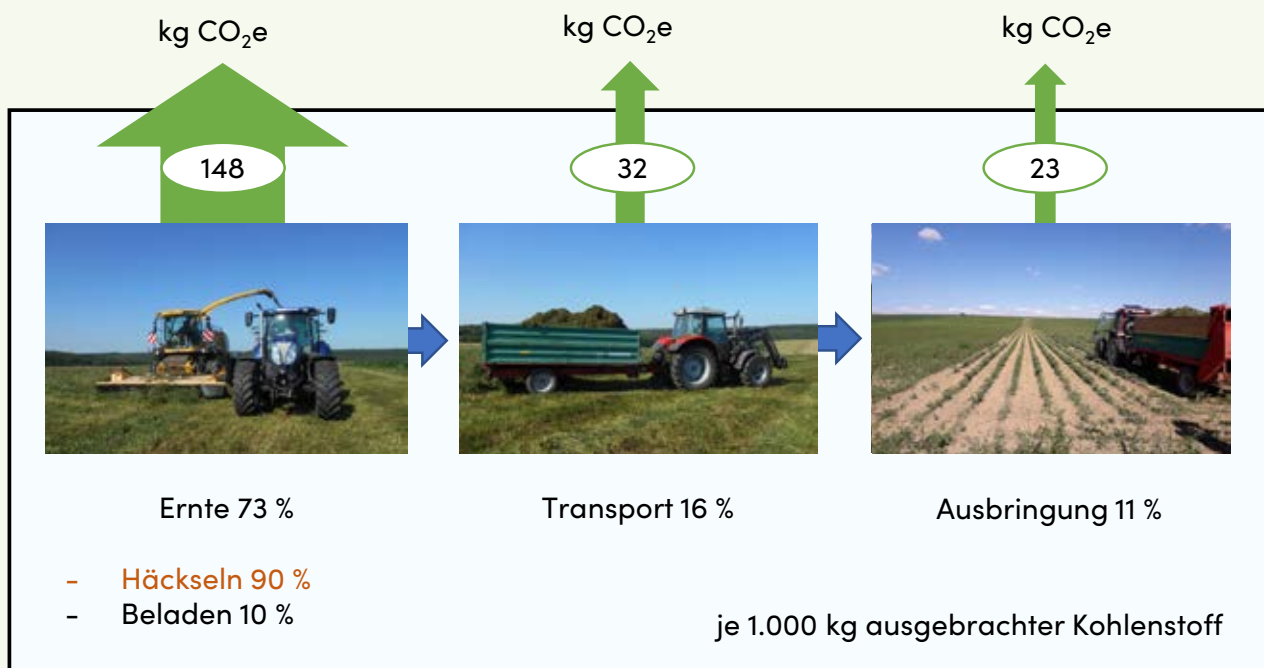
Der Transport des Mulchmaterials war sowohl der zeit- als auch der kostenintensivste Prozess dieser Maßnahme. Er dauerte 0,35 Stunden und kostete knapp 69 €, das sind jeweils knapp 27 % der Gesamtdauer und der Gesamtkosten.

Um 1.000 kg Kohlenstoff auszubringen, wurden insgesamt 1,3 Maschinenstunden und Kosten in Höhe von 259 € verursacht.

Um 100 kg Stickstoff auszubringen, wurden insgesamt 2,9 Maschinenstunden benötigt und 447 kg CO₂e verursacht. Die Kosten in der Höhe von 569 € waren um rund 130 € niedriger als die Kosten von rund 700 € für 100 kg N in Form von handelsüblichen Bio-Düngern.

Transfermulch: Luzernekleegras in Sonnenblume: ökologische Bewertung

Emissionen insgesamt: 203 kg CO₂e



• Cut & Carry - Grünlandaufwuchs auf den Acker

Der Biohof Stirmayr im oberösterreichischen Gramastetten ist seit 2008 viehlos. Seit damals betreiben Josef und Doris Stirmayr ihre eigene Form von Cut & Carry, um einerseits den wegfallenden Wirtschaftsdünger am Acker zu kompensieren und andererseits die vorhandenen Grünlandflächen und deren Aufwuchs möglichst im Betriebskreislauf zu halten: ein Schnitt der gesamten Wiesen wird einmal jährlich auf die Ackerflächen gestreut und eingearbeitet. Für die dazu passende extensive Grünlandbewirtschaftung wird vom Land Oberösterreich seit einigen Jahren eine Naturschutzförderung gewährt.

Die Grünlandflächen werden für den Abtransport des Mulchs nach einem durchdachten Schema gemäht. Die gemähte Fläche ist dabei immer abgestimmt auf die gerade zur Verfügung stehenden, frisch abgeernteten Stoppelflächen am Acker. Die Naturschutzwiesen, die nur einmal gemäht werden, haben eine Schnittzeitpunkt-Auflage: ab 1. Juli südseitig und ab 15. Juli nordseitig.

Für die Mulchernte und das Ausstreuen wird ein Kurzschnittladewagen verwendet. Ist der Ladewagen voll beladen, fährt er auf den Acker und lädt mittels Dosierwalzen das Material gleich wieder ab. Dabei wird das Material in Bahnen im Abstand von einer Spur auf dem Acker aufgebracht. Diese Mulchzeilen werden in einem weiteren Arbeitsgang mit dem Heuwender auf dem Acker gleichmäßig verteilt. Danach wird das Feld normal bearbeitet und anschließend eine

Zwischenfrucht gesät. Ein Teil des Mulchs wird in eine bereits etablierte Zwischenfrucht eingestreut.

Im Rahmen des Projektes wurde eine Nährstoffbilanzierung durchgeführt, für die ein ganzes Vegetationsjahr lang die Mengen des gesamten Aufwuchses der Dauergrünlandflächen erhoben wurden. Durch den späten ersten Erntetermin steht ein überreifer erster Aufwuchs mit einem Anteil von jungem Nachwuchs des 2. Aufwuchses um diese Zeit auf den Wiesen. Deshalb liegen die Trockenmasseerträge fast beim Doppelten eines Schnittes. Im Jahr 2020 wurden insgesamt 21 ha Grünland gemäht und der Aufwuchs auf 7,6 ha Ackerfläche aufgebracht.

Der erste Aufwuchs, der im Durchschnitt rund 4.600 kg Frischmasse und 1.800 kg Trockenmasse pro Hektar Geberfläche ausmachte, wurde vom Dauergrünland auf die Ackerflächen transferiert. Dabei wurden je Hektar 830 kg Kohlenstoff, 28 kg N, 39 kg K₂O, 10 kg P₂O₅ und 31 kg CaCO₃ von den Grünlandflächen geerntet. Am Acker bedeutet dies eine Zufuhr von 2.300 kg Kohlenstoff, 76 kg N, 109 kg K₂O, 29 kg P₂O₅ und 86 kg CaCO₃ je ha gedüngte Fläche.

Der Vergleich der Bodenanalysenergebnisse von 2021 mit den Analysendaten von 2008, vor Beginn der Cut & Carry-Bewirtschaftung, zeigte, dass der Humusgehalt der Ackerböden dadurch im Vergleich zur vorherigen Bewirtschaftung als Bio-Milchviehbetrieb um 0,5-0,6 % angehoben werden konnte.

Abgeführte Nährstoffmengen je Hektar Dauergrünland-Geberfläche

(von insgesamt 21 ha) und aufgebrachte Nährstoffmengen je Hektar Ackerfläche (auf insgesamt 7,6 ha) im Jahr 2020.

	Frisch- masse	Trocken- masse	C	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	B	Cu	Zn	Fe	Mn	Mo
	[kg]													
Abgeführte Mengen pro ha Grünland	4575	1804	829	28	10	39	12	3	0,01	0,01	0,04	0,42	0,22	0,01
Aufgebrachte Mengen pro ha Ackerfläche	12665	4994	2295	76	29	109	34	9	0,03	0,02	0,10	1,16	0,61	0,01

Ökologische und ökonomische Bewertung

Für die Bewertung wurden die aus der Verbrennung fossiler Energieträger entstehenden Treibhausgasemissionen, die Arbeitsdauer und die kalkulatorischen Kosten berechnet und bewertet^{4, 8, 11, 12, 14, 15}.

Um 1.000 kg Kohlenstoff auf das Nehmerfeld zu transferieren, wurde eine Geberfläche von 1,2 ha bewirtschaftet, knapp 7 t Klee gras (Frischmasse) geerntet und eine Transportstrecke mit Frachtgewicht (inkl. der leeren Rückfahrt) von weniger als 1 km zurückgelegt. Gleichzeitig wurden knapp 35 kg im Grünschnittmaterial gebundener Stickstoff von der Geberfläche auf die Nehmerfläche transferiert.

Dabei wurden insgesamt 99 kg CO₂e Emissionen durch die Maschinen- und Transportprozesse verursacht. Das Mähen verursachte mit ca. 39 kg CO₂e rund 42 % der Gesamtemissionen. Das Beladen des Kurzschnittladewagens emittierte mit knapp 32 kg CO₂e rund 34 % der Gesamtemissionen, das Schwaden trug mit 22 kg CO₂e rund 24 % dazu bei. Der Beitrag der Teilschritte Kreiseln und Grünschnitttransport lag bei insgesamt 5 kg CO₂e und rund 5 % der Gesamtemissionen. Aufgrund der arrondierten Flächen des Betriebes waren die Transportwege extrem kurz.

Das Schwaden war mit 0,9 h der zeitintensivste, das Mähen mit knapp 79 € der kostenintensivste.

Um 1.000 kg Kohlenstoff auszubringen, benötigte Cut & Carry im Beispiel insgesamt 2,7 Maschinenstunden und verursachte Kosten in Höhe von 190 €.

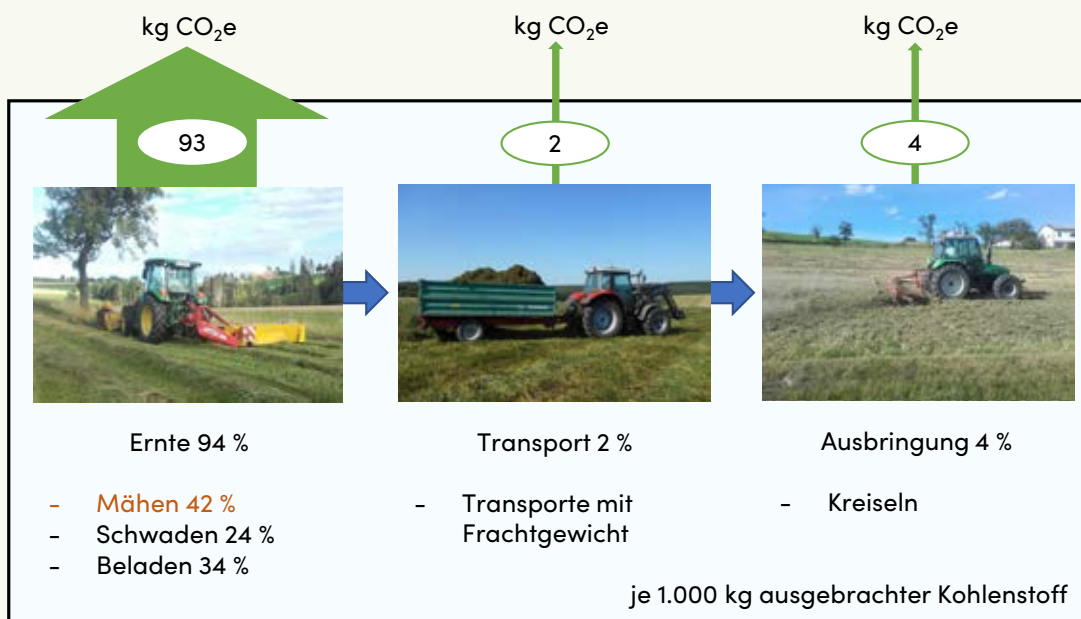
Um 100 kg Stickstoff auszubringen, wurden insgesamt 7,6 Maschinenstunden mit Kosten in Höhe von 546 € benötigt und 283 CO₂e verursacht.

Umgerechnet auf 1 kg N belaufen sich die Kosten beim Beispiel Cut & Carry auf 5,46 €. Damit ist diese Form der Düngung, vor allem wenn man auch den Düngewert von 1,5 kg K₂O (2,0 € je kg) und 0,4 kg P₂O₅ (3,85 € je kg) noch mitbewertet, auf jeden Fall günstiger als vergleichbare biotaugliche, organische Handelsdünger, deren Vergleichspreis bei rund 7 € pro kg N liegt.

Im Vergleich der Ergebnisse der ökologischen und ökonomischen Bewertung der beiden Beispiele für Transfermulch in Schachendorf und Cut & Carry in Gramastetten ist der Einfluss des eingesetzten Fuhrparks und der zurückgelegten Transportstrecken auf die Menge der verursachten CO₂e Emissionen

Cut and Carry – Grünlandaufwuchs auf den Acker: ökologische Bewertung

Emissionen insgesamt: 99 kg CO₂e



klar ersichtlich. Obwohl bei Cut & Carry eine doppelt so große Fläche bewirtschaftet wurde, um 1.000 kg Kohlenstoff zu transferieren, wurden dabei um 50 % weniger CO₂e Emissionen verursacht. Dies ist sowohl auf den leistungsschwächeren Fuhrpark als auch auf die hier viel geringeren Transportstrecken zurückzuführen (0,8 km anstatt 10,6 km).

Beim Transfermulch-Beispiel in Schachendorf wurden beim Häckseln des Geberfeldes mit einem 578 PS starken Selbstfahrhäcksler 133 kg CO₂e Emissionen emittiert. Bei Cut & Carry hingegen wurden für die Kleeerasernte, welche aus Mähen und Schwaden des Geberfeldes mit etwa 97 PS starken Traktoren bestand, insgesamt nur rund 62 kg CO₂e Emissionen verursacht. Die Emissionen der Transporte bei Cut & Carry waren um einen Faktor von ca. 22 geringer als

jene bei Transfermulch. Dies liegt an der wesentlich kürzeren Transportstrecke (0,8 km gegenüber 10,6 km) sowie am geringeren Frachtgewicht (6,5 t gegenüber 10,3 t).

Die Kosten für 1.000 kg ausgebrachten Kohlenstoff waren beim Cut & Carry-Beispiel mit 190 € geringer als beim Transfermulch-Beispiel mit 259 €. Die stärkere Mechanisierung beim Transfermulch in Schachendorf bewirkte aber eine Halbierung der Arbeitszeit auf 1,3 h pro 1.000 kg ausgebrachtem Kohlenstoff gegenüber 2,7 h bei Cut & Carry.

Kleegras und Grünlandaufwuchs: verkaufen oder selbst verwenden?

Eine Möglichkeit, Kleegras oder Grünlandaufwuchs, der am eigenen Betrieb nicht benötigt wird, zu verwerten, ist der Verkauf als Futter an tierhaltende Betriebe.

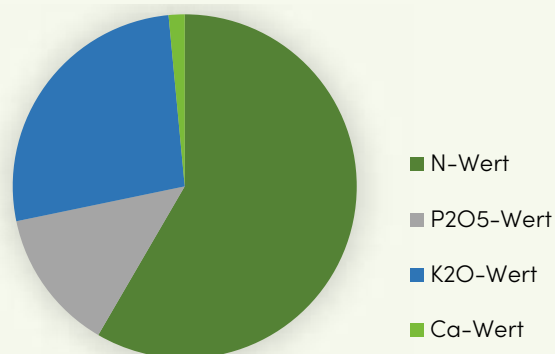
Nimmt man ein Beispiel mit Kleegras und 4 oder 5 Schnitten je Jahr mit einer Gesamtproduktivität von 10 t Trockenmasse bzw. 44 Siloballen je Hektar und Jahr, so ergibt sich daraus nach Abzug der Werbungs- und Erntekosten (Mähen, Zetten, Schwaden, Pressen, Wickeln) ein reiner Futtererlös von rund 170 € je Hektar und Jahr. In Abhängigkeit von den tatsächlichen Erntemengen und den jeweils aktuellen Preisen kann dieser Wert jedoch in weitem Rahmen schwanken.

Mit dem Beispiel Dauergrünland sollen jene Flächen abgebildet werden, die weniger produktiv sind, aber durch Heuwerbung hochwertiger konserviert werden und bis zu 800-1000 €/ha Erlösen können.

Bewertet man die im 1. Kleegrasschnitt im Beispiel enthaltenen Nährstoffe 55 kg N, 84 kg K₂O, 23 kg P₂O₅ und 51 kg Ca mit aktuellen Preisen biotauglicher Düngemittel (Düngerpreise Februar 2022), so ergibt sich ein Nährstoffwert von insgesamt 659 €. Von diesem Wert sind noch die Werbungs- und Ausbringkosten in Abzug zu bringen, die sich –

je nach Erntekette (Kurzschnittladewagen oder Feldhäcksler) – in der Größenordnung von 250-350 €/ha und Aufwuchs bewegen. Damit stehen am Ende ca. 300-400 € Nährstoffwert zum Vergleich mit dem Verkaufserlös beim Verkauf als Futter. Der Wert der Mulchwirkung, Wasserkonservierung, des Erosionsschutzes und der Humuswirkung ist hierbei noch nicht bewertet.

Nährstoffwert Kleegras 1. Schnitt



Zusammensetzung des Nährstoffwerts von gesamt 695 € am Beispiel 1. Schnitt mit 3 t TM/ha bei 40 % TM-Gehalt des Futters



Der Wert der Nährstoffe im Kleeertrag darf nicht unterschätzt werden.

Futtermarktwert von Siloballen von 1 ha Kleeertrag

	Trockenmasse-Ertrag [kg/ha]	Richtwert Trockenmasse-Ertrag [t/ha]	Anzahl Ballen	Kosten Werbung [€]	Erlös je Ballen [€]	Gesamterlös pro Schnitt* [€]
1. Schnitt	3000	2000-3500	12,7	7,1	6,9	88,0
2. Schnitt	2500	1000-2500	11,0	8,2	5,8	63,8
3. Schnitt	1500	1000-2500	6,7	13,4	0,6	3,7
4. Schnitt	1800	1000-2500	7,9	11,3	2,7	21,1
5. Schnitt	1300	1000-2000	5,8	15,5	-1,5	-8,8
					Summe:	167,9

*nach Abzug der Werbungs- und Erntekosten

Futtermarktwert von Heuballen von 1 ha Dauergrünland

	Trockenmasse-Ertrag [kg/ha]	Richtwert Trockenmasse-Ertrag [t/ha]	Anzahl Ballen	Kosten Werbung [€]	Erlös je Ballen [€]	Gesamterlös pro Schnitt* [€]
1. Schnitt	4000	2000-3500	13,8	14,2	42,8	590,1
2. Schnitt	2000	1000-2500	6,9	28,3	28,7	197,6
3. Schnitt	1500	1000-2500	5,2	37,8	19,2	99,4
					Summe:	887,1

*nach Abzug der Werbungs- und Erntekosten, ohne Nachtrocknung

• Betriebskooperationen

Durch die zunehmende Spezialisierung landwirtschaftlicher Betriebe können betriebsübergreifende Kooperationen viele Vorteile bringen. Kooperationen mit landwirtschaftlichen Materialien lassen die eingetauschten Güter in ihrem Wert steigen, da sie vom Kooperationspartner/der Kooperationspartnerin als limitierender Faktor angesehen werden. Ein- bis mehrjähriges Klee gras in der Fruchtfolge sorgt für Bodenruhe, Humusanreicherung,

Stickstoffanreicherung und in der Folge für erhöhte Bodenfruchtbarkeit, Vorteile, die auch viehlose Betriebe gerne nutzen würden. Klee gras ist für einen reinen Ackerbaubetrieb schwierig verwertbar, kann aber an viehhaltende Betriebe oder Biogasanlagen geliefert werden. Mist, Gülle, Biogasgülle und Abpresskuchen sind im Gegenzug willkommene Wirtschaftsdünger für viehlose Betriebe.

• Klee gras – Mist- & Gülle-Kooperation

Der Betrieb von Xaver Diermayr liegt in Neuhofen im Innkreis. Als reinem Ackerbaubetrieb fehlt ihm die Möglichkeit, Klee gras durch Fütterung an betriebseigenes Vieh zu verwerten, deshalb sind hier innovative Verwertungsmaßnahmen gefragt. Xaver Diermayr ist Kooperationen mit einem biologischen und einem konventionellen Milchviehbetrieb eingegangen, die Gülle und Mist im Tausch gegen Klee gras liefern. Beide Milchviehbetriebe sind viehstark, brauchen Ausbringfläche für Mist und Gülle und haben begrenzte Lagerkapazitäten. Die Entfernung zu beiden Betrieben beträgt ca. 5 Kilometer.

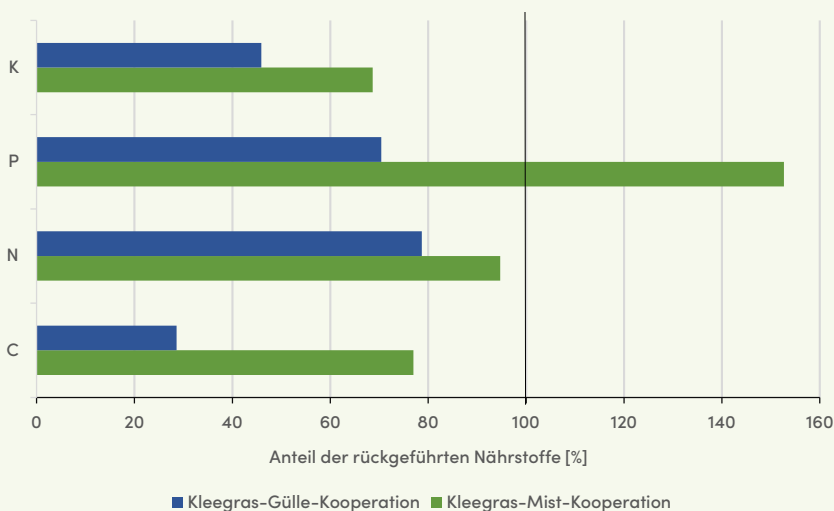
Der Ackerbaubetrieb tauscht den 1. und 3. Schnitt gegen konventionellen Mist ein, den 2. Schnitt gegen biologische Gülle. Der 4. Aufwuchs wird gemulcht und

verbleibt am Feld. Die viehhaltenden Betriebe führen die Futtergewinnung und Abfuhr am Klee grasfeld selbst durch. Der Ackerbaubetrieb kümmert sich um das Abholen von Mist und Gülle.

Das Tauschverhältnis wurde auf Basis der Futterverwertung von Milchkühen bzw. Jungvieh, den Nährstoffgehalten in Wirtschaftsdüngern und den Kohlenstoffgehalten der Wirtschaftsdünger und ihrer Humuswirkung ausgehandelt.

Im Projekt wurden von allen getauschten Materialien Proben gezogen und auf ihre Nährstoffgehalte analysiert. Mit diesen Daten wurde die Kooperation anhand des Beispiels des vereinbarten Tauschverhältnisses durchgerechnet.

Rückfuhr der Nährstoffe in Prozent der gelieferten Nährstoffe



Kohlenstoff- und Nährstoff-rückfuhraten (%), bezogen auf 1 t Klee gras, 1,2 t Mist und 2,35 m³ Gülle entsprechend dem vertraglich geregelten Tauschverhältnis und berechnet mit den Inhaltsstoffen der jeweils getauschten Schnitte 2020

Tauschverhältnis:

1 t Kleeergrassilage (32,5 % TM) : 1,2 t Mist (konventionell)
1 t Kleeergrassilage (32,5 % TM) : 2,35 m³ Gülle (bio)

In der Mistkooperation kommen 95 % des mit dem Kleeergras exportierten Stickstoffs wieder zurück, vom Kalium sind es 69 %. Bei Phosphor, Calcium und Magnesium kommt deutlich mehr zurück als exportiert wurde, nämlich 153 % des Phosphors, 139 % des Ca und 227 % des Mg. Mit dem Mist werden 77 % der mit dem Kleeergras exportierten Kohlenstoffmenge rückgeführt. Nicht berücksichtigt werden bei beiden Kooperationen die N-Verluste bei der Ausbringung am Nehmerfeld.

In der Güllekooperation kommt von dem mit dem Kleeergras exportierten Kohlenstoff deutlich weniger zurück, nämlich nur 29 %. Vom Stickstoff kommen mit der Gülle 79 % zurück, beim Phosphor sind es 70 %, bei Kalium 46 %, bei Calcium 98 % und bei Magnesium 106 %.

Auffallend ist, dass Kupfer, Zink, Mangan und Eisen in vielfach höheren Mengen aus dem konventionell geführten Stall mit dem Mist zurückkommen: bei

Cu sind es 410 % der mit dem Kleeergras exportierten Menge, bei Zink 450 %, bei Mangan 557 % und bei Eisen sogar 1360 %, welche aus dem Ergänzungsfutter für Rinder stammen dürften. Auch mit der Bio-Gülle kommen diese Elemente in höheren Mengen zurück als exportiert, jedoch deutlich weniger als mit dem Mist.

Zur besseren Einschätzung der Stickstofffrachten wurde anhand der Daten vom intensiv beprobten Betrieb Grottenhof das Input/Output-Verhältnis von Stickstoff im Rinderstall errechnet. Der Input bezieht sich auf eine Fütterung mit 12,5 kg Grundfutter (Trockenmasse, TM) und 3,5 kg Krafffutter (TM) täglich (73 % des N aus Grundfutter), der Output bezieht sich auf Mist und Gülle. Hier ergibt sich ein Grundfutter/ Wirtschaftsdünger-Verhältnis von 2:1, bedingt durch die Verluste in Form von Milch, Fleisch, Atmung und gasförmige Verluste bei der Umwandlung von Futter in Mist. Dieses Verhältnis von N-Input zu N-Output von 2:1 wäre im Rahmen einer Betriebskooperation jedoch nicht fair, da der Milchviehbetrieb vom Verkauf von Milch und Fleisch profitiert, der Ackerbaubetrieb jedoch nicht. Somit ist ein höheres Tauschverhältnis zugunsten des Ackerbaubetriebs gerechtfertigt.



Kleeergrasbestand eines Ackerbaubetriebes



Mist wird bis zur Ausbringung in Feldmieten zwischengelagert

Humusbilanz

Das einjährige Kleeergras bringt am Betrieb von Xaver Diermayr allein durch die Bodenruhe und seine Wurzelmasse 600 kg C/ha/Jahr als stabilen Humus in den Boden ein, auch wenn die oberirdische Biomasse mit 8,7 t TM/ha abgeführt wird⁶. Würden die Kleeergrasaufwüchse nur gemulcht und nicht abgeführt werden, entspräche das weiteren 86,5 kg C/ha/Jahr. Wird so wie hier anstatt des Mulchens eine Kooperation eingegangen, werden der eingetauschte Mist und die Gülle am Betrieb humuswirksam. Der im Tausch für

den Aufwuchs auf den Ackerflächen ausgebrachte Mist (22,3 t Frischmasse, FM) bringt 460 kg Humuskohlenstoff pro Jahr, die ausgebrachte Gülle (19,3 t FM) bringt 102 kg Humuskohlenstoff. Die Kleeergras-Mist- und Kleeergras-Gülle-Kooperation haben einen entscheidenden Vorteil, nämlich dass vor allem im Mist sehr viel stabiler Kohlenstoff vorhanden ist und mit Gülle und Mist auch andere Ackerflächen nach Bedarf gedüngt werden können.

Getauschte Mengen von Klee gras, Mist und Gülle sowie enthaltene Nährstoffe

Durch Klee gras, Mist und Gülle getauschte Nährstoffe (pro Hektar Geberfläche)

	Frisch- masse	Trocken- masse	C	N	C/N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn	Mo
	t	%	kg	kg	C/N	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg
Klee gras-Mist-Kooperation														
Klee gras 1. und 3. Schnitt Silage	19,8	30,5	2543	168	15,1	22,7	196,1	64,0	15,7	0,05	0,17	1,01	0,23	0,010
Mist	22,3	22,3	1957	159	12,3	34,7	134,7	88,9	35,7	0,19	0,76	13,73	1,26	0,007
Rückfuhr in % der Lieferung	113		77	95		153	69	139	227	410	450	1360	557	69
Klee gras-Gülle-Kooperation														
Klee gras 2. Schnitt, Heu	3,7	70,9	1187	44	26,9	8,7	97,3	17,4	5,8	0,02	0,05	0,82	0,09	0,004
Gülle	19,3	4,3	340	35	9,8	6,1	44,7	17,1	6,1	0,04	0,19	1,57	0,22	0,002
Rückfuhr in % der Lieferung	522		29	79		70	46	98	106	259	370	192	248	61

Mistlagerung

Der in der Kooperation eingetauschte Mist wird bis zum optimalen Ausbringzeitpunkt auf Mieten zwischengelagert. Eine Optimierung der Zwischenlagerung wurde durch Beigabe von Hackschnitzeln und Abdecken mit einem Kompostvlies getestet.

Gleichzeitig ging bei Abdeckung mit Kompostvlies weniger Stickstoff verloren. Der Stickstoffgehalt in der Vliesvariante war um 3,2 % höher als in der offenen Miete. Dadurch hatte die unbedeckte Miete ein deutlich höheres C/N-Verhältnis von 12,3 als die Miete unter Vlies mit 9,3.

Hackschnitzelzugabe

Ein Versuch mit Zugabe von 20 vol-% Hackschnitzeln zur Mistmiete zeigte, dass nach 4,5 Monaten Lagerung die Hackschnitzel keinen Einfluss auf C/N-Verhältnis, Kohlenstoff und Stickstoff im Mist hatten. Auch der Sauerstoffverbrauch durch Mikroorganismen (im Oxitop-Test) war im Vergleich mit einer Mistmiete ohne Hackschnitzel unverändert.



Mist-Hackschnitzelmiete

Abdeckung mit Kompostvlies

Nach eineinhalb Monaten Lagerung war die offen gelagerte Mistmiete noch deutlich höher als die unter Vlies gelagerte, wobei die Dichte der beiden Mieten gleich war. Der höhere C-Verlust und der geringere Sauerstoffverbrauch durch Mikroorganismen unter Vlies zeigten eine fortgeschrittenere Verrottung des Mistes unter Vlies an.

Erfahrungen von Xaver Diermayr

Unsere Kooperation haben wir vertraglich geregelt. Der Grundpfeiler solcher Kooperationen ist jedoch gegenseitiges Vertrauen, das ist unabdingbar für die Zusammenarbeit.

Ökologische und ökonomische Bewertung der Mistkooperation

Für die Bewertung der Beispiels-Mistkooperation wurden die aus der Verbrennung fossiler Energieträger entstehenden Treibhausgasemissionen, die Arbeitsdauer und die kalkulatorischen Kosten berechnet und bewertet^{4, 8, 11, 12, 14, 15}.

Um 1.000 kg Kohlenstoff auf das Nehmerfeld zu transferieren, wurde eine Geberfläche von 0,5 ha bewirtschaftet, rund 10 t Klee gras (Frischmasse) geerntet, 10 t Mist ausgebracht und eine Transportstrecke mit Frachtgewicht (inkl. der leeren Rückfahrt) von knapp 14 km zurückgelegt. Damit wurden 81 kg im Mist gebundener Stickstoff von der Geberfläche auf die Nehmerfläche transferiert.

Dabei entstanden insgesamt 254 kg CO₂e Emissionen durch die Maschinen- und Transportprozesse. Die Stallemissionen des Kooperationsbetriebes sowie bei der Ausbringung auftretende Verluste wurden nicht berücksichtigt. Das Häckseln verursachte mit ca. 83 kg CO₂e rund 33 % der Gesamtemissionen. Die Transporte emittierten mit 56 kg CO₂e knapp 22 % der Gesamtemissionen, das Mähen trug mit 33 kg CO₂e ca. 13 % dazu bei und die Mistausbringung war mit knapp 22 kg CO₂e zu etwa 9 % an den Gesamtemissionen beteiligt. Die übrigen Prozesse waren für die restlichen 23 % der Gesamtemissionen verantwortlich.

Das Beladen des Miststreuers war der zeitintensivste Teilschritt und das Häckseln des Klee grasses der kostenintensivste. Das Häckseln dauerte 0,41 Stunden und kostete knapp 71 €, das sind knapp 16 % der Gesamtdauer und etwa 22 % der Gesamtkosten

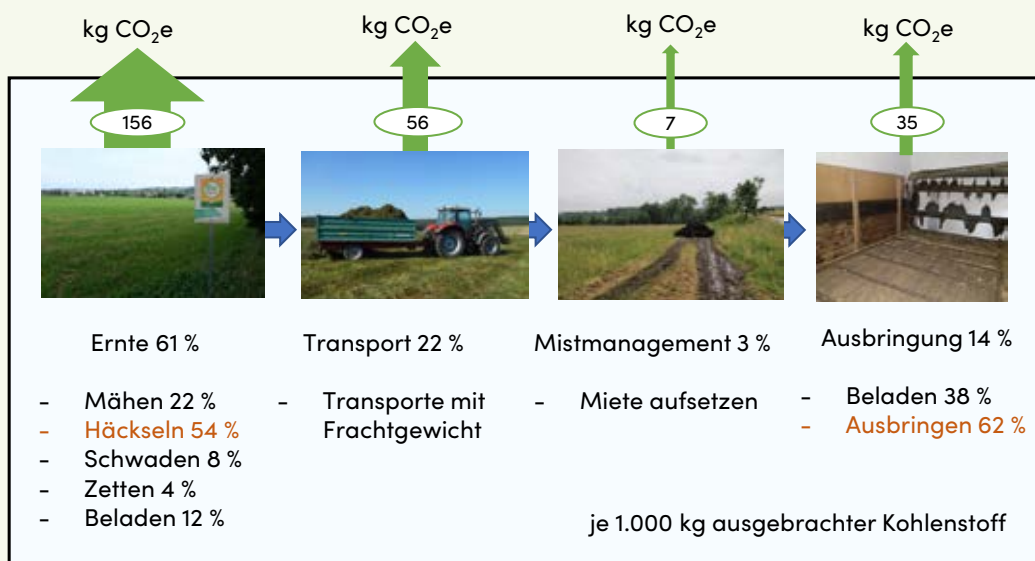
Um 1.000 kg Kohlenstoff auszubringen, wurden bei der Mistkooperation insgesamt 2,6 Maschinenstunden benötigt und Kosten in Höhe von 325 € verursacht.

Um 100 kg Stickstoff auszubringen, wurden bei der Mistkooperation insgesamt 3,2 Maschinenstunden benötigt und 312 CO₂e verursacht. Die Kosten dafür lagen bei 400 € und somit deutlich unter den rund 700 €, die für biotauglichen, organischen Handelsdünger anfallen würden.



Klee gras-Mist-Kooperation: ökologische Bewertung

Emissionen insgesamt: 254 kg CO₂e



Ökologische und ökonomische Bewertung der Güllekooperation

Zur Bewertung der Beispiels-Güllekooperation wurden ebenso die aus der Verbrennung fossiler Energieträger entstehenden Treibhausgasemissionen, die Arbeitsdauer und die kalkulatorischen Kosten berechnet und bewertet. Der Einheitlichkeit halber wurde auch hier die Kosten und Emissionen pro 1.000 kg ausgebrachtem Kohlenstoff bewertet. Da in Gülle naturgemäß wenig Kohlenstoff enthalten ist, wurden die Werte auch auf 100 kg ausgebrachten Stickstoff bezogen, wobei sich die Bewertung aber nur in geringem Umfang ändert.

Um 1.000 kg Kohlenstoff auf das Nehmerfeld zu transferieren, wurde eine Geberfläche von ca. 2 ha bewirtschaftet, etwa 11 t Klee gras (Frischmasse) geerntet, eine Güllemenge von knapp 57 t ausgebracht und eine Transportstrecke mit Frachtgewicht (inkl. der leeren Rückfahrt) von rund 57 km zurückgelegt. Mit dieser Maßnahme wurden 103 kg in der Gülle gebundener Stickstoff von der Geberfläche auf die Nehmerfläche transferiert.

Dabei entstanden insgesamt 614 kg CO₂e Emissionen durch die Maschinen- und Transportprozesse. Die Transportprozesse des Klee grasses und der Gülle verursachten mit 145 kg CO₂e rund 23 % der Gesamtemissionen. Ursache dafür ist vor allem das hohe Frachtgewicht bei vergleichsweise geringem Nährstofftransport. Das Beladen eines nebenherfahrenden Traktors mit Ladewagen mit

Klee gras emittierte mit 109 kg CO₂e knapp 18 % der Gesamtemissionen. Die Ausbringung der Gülle am Nehmerfeld trug mit 124 kg CO₂e ca. 20 % dazu bei, das Mähen des Klee grasses war mit 96 kg CO₂e zu 16 % und die Heutrocknung mit 84 kg CO₂e zu knapp 14 % an den Gesamtemissionen beteiligt. Die übrigen Teilschritte waren für insgesamt 9 % der Gesamtemissionen verantwortlich.

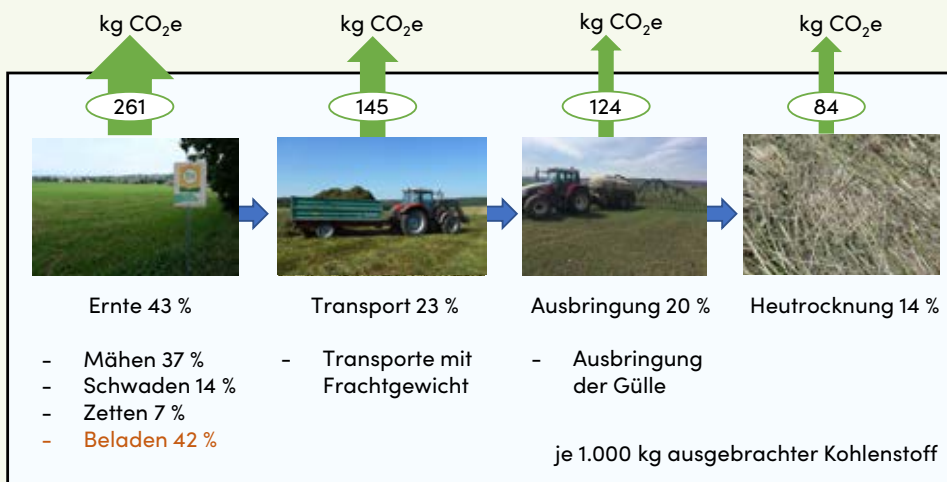
Das Beladen des Ladewagens mit Klee gras war mit 1,76 Stunden, das sind knapp 24 % der Gesamtdauer, der zeitintensivste Teilschritt. Die Transporte des Klee grasses und der Gülle waren die kostenintensivsten Teilschritte. Mit 243 € verursachten sie etwa 27 % der Gesamtkosten.

Um 1.000 kg Kohlenstoff auszubringen, benötigte die Güllekooperation insgesamt 7,4 Maschinenstunden und verursachte Kosten in Höhe von 895 €.

Wird als Bezugsrahmen 100 kg Stickstoff gewählt, ändert sich die Bewertung trotzdem nicht wesentlich: Um 100 kg Stickstoff auszubringen, wurden bei der Güllekooperation insgesamt 7,2 Maschinenstunden benötigt sowie Emissionen im Ausmaß von 597 CO₂e verursacht. Mit Kosten in der Höhe von 870 € waren 100 kg N hier teurer als in Form von biotauglichem, organischem Handelsdünger.

Klee gras-Gülle-Kooperation: ökologische Bewertung

Emissionen insgesamt: 614 kg CO₂e



• Gülleverdünnung

Das Ziel einer Gülleverdünnung ist die Verbesserung der Fließfähigkeit der Gülle für eine erhöhte und schnellere Infiltration in den Boden, um die gasförmigen Stickstoffverluste zu reduzieren. Gleichzeitig soll damit auch ein besserer Düngeeffekt bewirkt werden. Wenn Gülle ein knappes, eingetaushtes Gut ist, wäre es vorteilhaft, mit der eingetauschten Güllemenge mehr Flächen mit Stickstoff versorgen zu können.

An zwei Standorten, dem Betrieb der LFS Grottenhof in der Steiermark und dem Betrieb von Familie Messenböck in Oberösterreich, wurden Feldversuche angelegt. Es wurde jeweils unverdünnte Gülle sowie 1:1 mit Wasser verdünnte Gülle im Frühjahr auf Wintergerste ausgebracht.

Bei den beiden Güllen handelt es sich um Rindergüllen, jedoch aus unterschiedlichen Haltungs- und Fütterungssystemen. Am Betrieb Grottenhof werden Milchkühe gehalten, am Betrieb Messenböck handelt es sich um eine Mutterkuhhaltung. Die Gülle vom Grottenhof wies einen um $0,8 \text{ kg/m}^3$ höheren Gesamtstickstoffgehalt und eine um 2,8 % höhere

Trockenmasse auf, bei Ammonium und Kalium waren die Unterschiede gering. Die aufgebrachten Mengen betrugen rund $22 \text{ m}^3/\text{ha}$ am Betrieb Grottenhof und $19 \text{ m}^3/\text{ha}$ am Betrieb Messenböck.

Mit unverdünnter Gülle wurde auf beiden Standorten deutlich mehr N auf die Flächen gebracht, als durch Korn und Stroh entzogen wurde. Es konnten keine signifikanten und optisch erkennbaren Unterschiede der Wintergerstenbestände festgestellt werden. Der doppelte N-Input in den Varianten mit unverdünnter Gülle schlug sich nicht in höheren Erträgen oder höherem N-Entzug nieder.

Die Ergebnisse der beiden Versuchsstandorte zeigen, dass die Verdünnung eine höhere N-Effizienz bewirkt. Bei genügend Restnitrat, Bodenreserven und einem aktiven Bodenleben könnten somit mit der gleichen Güllemenge mehr Flächen mit Stickstoff versorgt werden. Dies bedeutet zwar mehr CO_2 -Emissionen durch mehr Überfahrten, jedoch weniger Stickstoffverluste.



Ausbringung der Güllevarianten am Standort Grottenhof



Ausbringung der Güllevarianten am Standort Meggenhofen

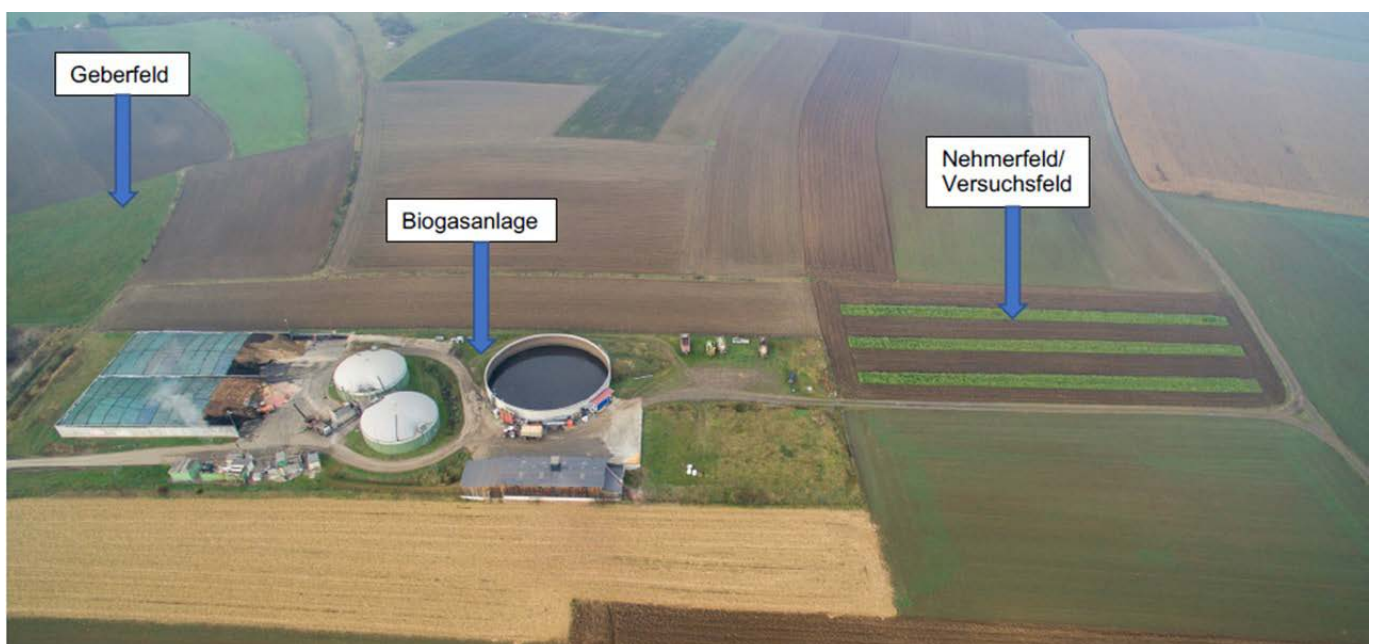
N-Input und N-Output je Variante an beiden Versuchsstandorten

		N-Input Gülle	N-Entzug Korn+Stroh
		[kg/ha]	[kg/ha]
Versuch Messenböck	Gülle 1:1	14	14,2
	Gülle unverdünnt	31	15,9
Versuch Grottenhof	Gülle 1:1	37	67,1
	Gülle unverdünnt	74	67,1

• Luzernekleegras – Biogasgülle - Kooperation

In Gars am Kamp wählten 15 viehlose LandwirtInnen eine andere Möglichkeit zur Verwertung ihres Luzerne-Kleegrases: Sie verwerten es über eine gemeinschaftliche Biogasanlage, wodurch zusätzlich Strom und Wärme für 1.000 Haushalte in Gars am Kamp produziert wird. Die bei der Biogasproduktion entstehende Biogasgülle, das ist der stickstoffreiche flüssige Gärrest, sowie den festen Rückstand Abpresskuchen erhalten die LandwirtInnen anteilig als wertvollen Dünger zurück.

Um herauszufinden, wie effizient die Biogasgülle-Kooperation ist, wurden Kleegras, Biogasgülle und Abpresskuchen über zwei Jahre hinweg beprobt, die Stoffflüsse erhoben, bilanziert und mögliche Verlustquellen mittels Literaturrecherche und teilweise im Praxisversuch identifiziert.



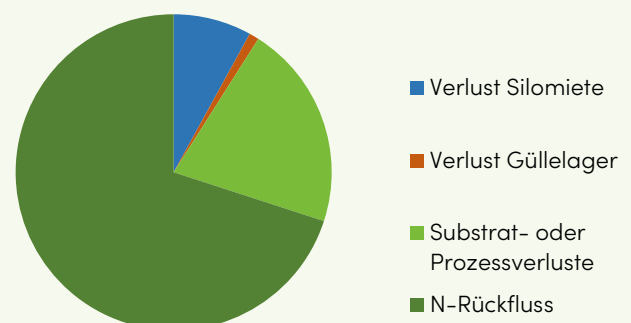
Schematische Übersicht der Biogasgülle-Kooperation

Kohlenstoff- und Stickstoff-Bilanz

Der Betrieb Schneider liefert im langjährigen Mittel 65 t Luzerne-Kleegras (Trockenmasse) von insgesamt 8,4 ha Geberfläche an die Biogasanlage. Rund 70 % des im Luzerne-Kleegras enthaltenen Stickstoffs erhält Robert Schneider von der Biogasanlage in Form von Biogasgülle und Abpresskuchen zurück. Diese 1.088 kg/Jahr Bio-N-Dünger entsprechen bei einem Bio-Stickstoffdünger-Preis von 7 € einem Düngerwert von 7.616 € pro Jahr.

Eine Verlustquellenanalyse ergab, dass etwa 8 % des Stickstoffs bei der Lagerung in Silomieten verloren geht, sowie 1 % bei der unbedeckten Güllelagerung⁷. Die Differenz von -21 % zwischen Stickstoffanlieferung und -rücklieferung liegt an der Beimischung von rund 20 %

N-Bilanz der Kleegras-Biogasgülle-Kooperation



Silomais, die in geringem Umfang für den technischen Betrieb der Anlage förderlich ist. Nicht berücksichtigt werden hier die N-Verluste bei der Ausbringung am Nehmerfeld, die auch bei bodennaher Ausbringung bis zu 20 % des ausgebrachten Stickstoffs ausmachen können.

Mit den 65 t Luzerne-Kleegras werden gut 29 t Kohlenstoff in die Biogasanlage geliefert. Der Rückflussgrad beträgt 16 % des C im Ausgangsmaterial. Dabei handelt es sich überwiegend um Verbindungen,

die nach Düngerausbringung verhältnismäßig stabil im Boden bleiben und daher gut zur Humusmehrung beitragen.

Bei einem Trockenmasseverlust von 8 % während der Lagerung auf der Silomiete¹, ergibt sich ein kalkulatorischer Wirkungsgrad der Biogasanlage von 75 %. Regelmäßige Analysen der Biogasanlage ergaben einen Wirkungsgrad von rund 70 % im Mittel der letzten fünf Jahre.

Stickstoff- und Kohlenstoffbilanz der Biogäsgülle-Kooperation in Gars/Kamp

	Trockenmasse	N	N	C	C
	[kg/Jahr]	[% TS]	[kg/Jahr]	[% TS]	[kg/Jahr]
Kleegras-Lieferung an Biogasanlage	65.000	2,4	1.560	44,7	29.079
Biogäsgülle	6.920	13,2	911	37,7	2.606
Abpresskuchen	5.928	3	177	39,1	2.320
Rückfluss Gesamt			1.088		4.926
Saldo Kooperation			-472		-24.153
Differenz Lieferung/Rückfluss (%)			-30%		-83%

Humusbilanz am Kooperationsbetrieb Schneider

Betrieblicher Humussaldo von +223 kg C/ha/Jahr über 7-jährige Fruchtfolge am Betrieb Schneider
Hauptfaktoren:

- +460 bis +750 kg C/ha/Jahr (je nach Standortgruppe) durch Anbau 2-jähriger Luzerne⁶
- 88 bis +493 kg C/ha/Jahr (je nach Standortgruppe) durch Zwischenfruchtanbau
- + 186 kg C/ha/Jahr durch Strohrotte am Feld
- + 112 kg C/ha/Jahr durch Abpresskuchen-Ausbringung (vergleichbar mit Stallmist)
- + 24,4 kg C/ha/Jahr durch Biogäsgülledüngung

Ökologische und ökonomische Bewertung

Zur Bewertung wurden die aus der Verbrennung fossiler Energieträger entstehenden Treibhausgasemissionen, die Arbeitsdauer und die kalkulatorischen Kosten berechnet und bewertet^{4, 8, 11, 12, 14, 15}, im Sinne der Einheitlichkeit auf 1.000 kg ausgebrachten Kohlenstoff bezogen.

Um 1.000 kg Kohlenstoff auf das Nehmerfeld zu transferieren, wurde eine Geberfläche von ca. 1,8 ha bewirtschaftet, rund 42 t Kleegras (Frischmasse) geerntet, eine Güllemenge von knapp 54 t ausgebracht und eine Transportstrecke mit Frachtgewicht (inkl. der leeren Rückfahrt) von ca. 52 km zurückgelegt. Mit dieser

Maßnahme wurden 228 kg in der Gülle gebundener Stickstoff von der Geberfläche auf die Nehmerfläche transferiert.

Dabei wurden insgesamt 461 kg CO₂e Emissionen durch die Maschinen- und Transportprozesse ausgestoßen. Die Transportprozesse des Kleegrases, der Gülle und des Abpresskuchens verursachten gemeinsam mit 131 kg CO₂e etwa 28 % der Gesamtemissionen. Der Prozess Silomiete aufsetzen emittierte mit 26,10 kg CO₂e ca. 6 %, das Häckseln trug mit 120 kg CO₂e etwa 26 % dazu bei und das Mähen war mit 99 kg CO₂e zu knapp 21 % an den Gesamtemissionen beteiligt. Die restlichen Teilschritte waren für die restlichen 19 % der Gesamtemissionen verantwortlich.

Das Mähen der drei Schnitte war der zeit- und kostenintensivste Teilschritt. Er dauerte 1,6 Stunden und kostete etwa 242 €, das sind 32 % der Gesamtdauer und 35 % der Gesamtkosten.

Um 1.000 kg Kohlenstoff auszubringen, benötigte die Biogasgülle-Kooperation insgesamt 5 Maschinenstunden und verursachte Kosten in Höhe von 681 €.

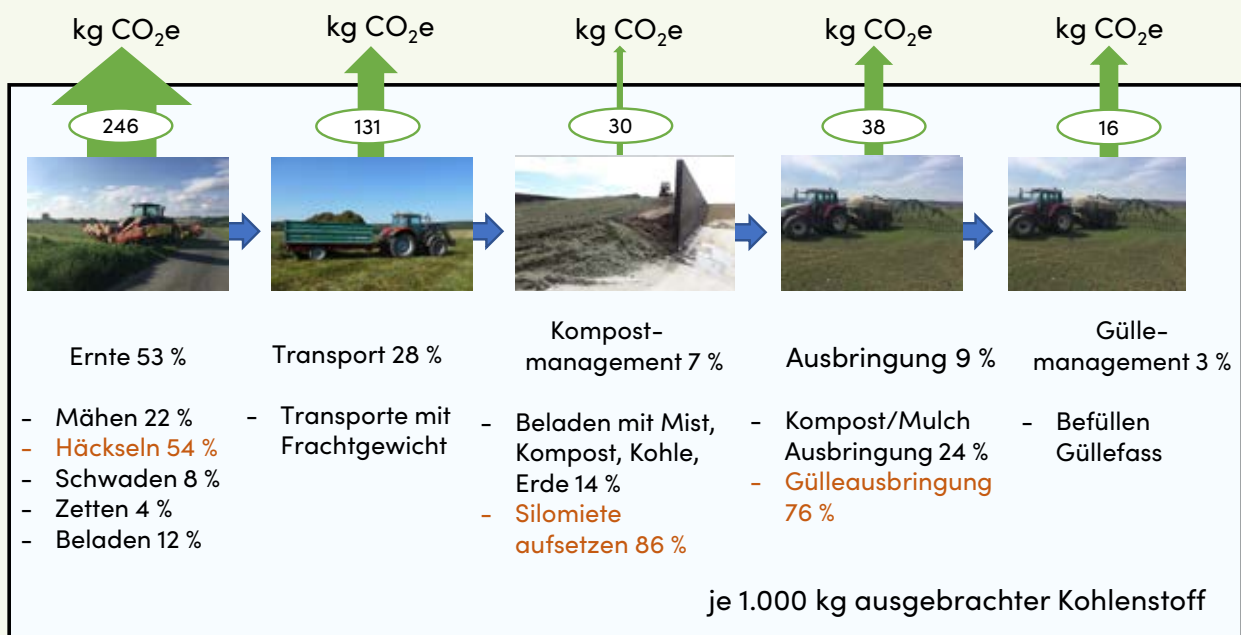
Da in Biogasgülle naturgemäß nur ein geringer Kohlenstoffanteil enthalten ist, ist der Bezug auf 100 kg ausgebrachten Stickstoff interessanter: Um 100 kg Stickstoff am Nehmerfeld auszubringen, benötigte die Biogasgülle-Kooperation insgesamt 2,2 Maschinenstunden, und 202 kg CO₂e Emissionen wurden durch die Maschinen- und Transportprozesse ausgestoßen.

Mit Kosten von 299 € für 100 kg N verursachte die Beispiels-Biogasgülle-Kooperation weniger als die Hälfte der Kosten von rund 700 € für 100 kg N, die für biotauglichen, organischen Handelsdünger anfallen würden.



Klee gras-Biogasgülle-Kooperation: ökologische Bewertung

Emissionen insgesamt: 461 kg CO₂e



• Biogasgülleausbringung in Begrünung

Feldversuch Biogasgülleausbringung in Begrünung bei Robert Schneider, Gars/Kamp	
„Kann eine abfrostdende Begrünung die im Herbst anfallende Biogasgülle verlustfrei speichern?“	
„Wie wirkt sich der Pflugeinsatz auf die Stickstoffdynamik aus?“	
Varianten	V00: ohne Gülle, ungepflügt V0: ohne Gülle, gepflügt V1: 15 m ³ /ha Gülle, gepflügt V2: 15 m ³ /ha Gülle, ungepflügt
Bodenbearbeitung	31.7.2020 Stoppelsturz: Schwergrubber mit Flachscharen, 5 cm Arbeitstiefe
Sätermin Begrünung	9.8.2020: Kreiselegge und Sämaschine mit Schleppscharen
Gülleausbringung	23.9.2020 manuell
Pflugeinsatz	18.11.2020 (nur auf Pflugvarianten)
Begrünungsumbruch, Saatbettbereitung	27.3.2021: Schwergrubber, danach Saatbettkombination
Aussaat Sommergerste	30.3.2021: Sommergerste Sorte Avus (210 kg/ha) mittels Saatkombination
Ernte Sommergerste	13.7.2021

In einem exakten Feldversuch auf schluffiger Braunerde² in Gars am Kamp (NÖ) wurde der Frage nachgegangen, ob eine abfrostdende Begrünung den Stickstoff aus der im Herbst anfallenden Biogasgülle speichern und verlustfrei über den Winter bringen kann. Zusätzlich wurde untersucht, wie sich dabei Pflugeinsatz gegenüber pflugloser Bewirtschaftung auf die Stickstoffdynamik auswirkt.

Mit den 15 m³ Biogasgülle/ha wurden rund 65 kg N/ha ausgebracht. Im November lagen die N_{min}-Gehalte der mit Biogasgülle gedüngten Varianten im Boden unter 5 kg N/ha. Zum gleichen Zeitpunkt enthielt die oberirdische Biomasse der Begrünung in den Biogasgüllevarianten rund 150 kg N/ha, um rund 50 kg/ha mehr als in den Vergleichsvarianten ohne Gülle. Unerfasst bleibt der Stickstoff in den Wurzeln. Die Ergebnisse zeigen eindeutig, dass die Begrünung in beiden Güllevarianten den gedüngten Stickstoff erfolgreich verwerten konnte.

In den gepflügten Varianten wurde der in der Biomasse gebundene Stickstoff im Frühjahr zeitiger mineralisiert als in den pfluglosen Varianten. Für eine Folgekultur mit frühem Nährstoffbedarf, wie Sommergerste, ist dies förderlich. Bei einer später angebauten Hackfrucht, wie z.B. Mais oder Ölkürbis, könnte die frühe Mineralisierung

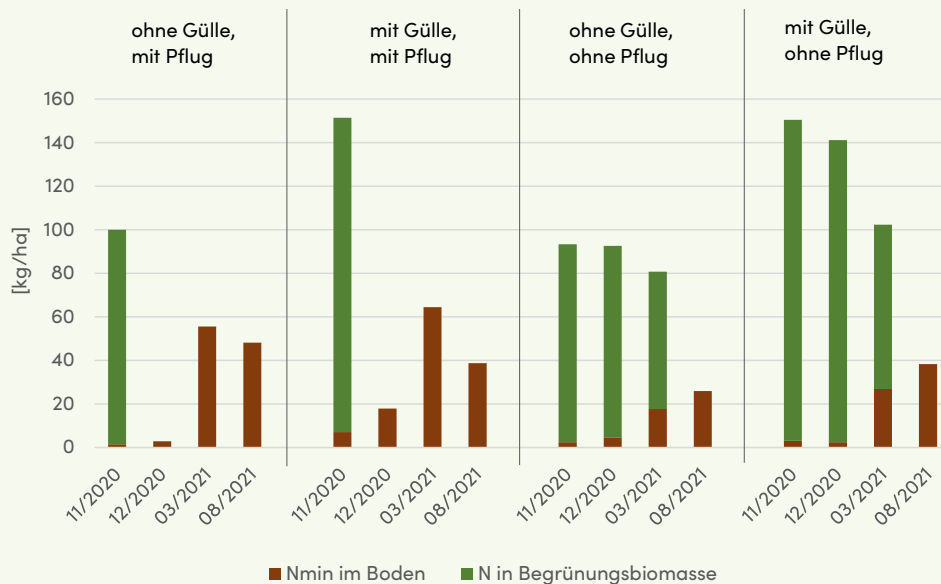
ein Risiko für Auswaschung darstellen. Der Ertrag und der Stickstoffentzug der Sommergerste wurden im Jahr 2021 durch die Biogasgülledüngung nicht signifikant erhöht.

Die N_{min}-Analysen nach der Sommergerstenernte ergaben N_{min}-Gehalte zwischen 26 und 48 kg/ha. Ein Einfluss der Gülledüngung auf den N_{min}-Gehalt im Boden nach der Ernte konnte nicht nachgewiesen werden. Die gemessenen N_{min}-Gehalte sind unter normalen Wetterbedingungen nicht auswaschungsgefährdet und für eine zielgerechte Strohhrotte geeignet. Somit konnte eine Auswaschung von Nitrat und ein damit einhergehender Nährstoffverlust für den Betrieb erfolgreich verhindert werden.

Fazit

Die leguminosenfreie Begrünung konnte die Stickstoffdüngung mit der Biogasgülle erfolgreich aufnehmen und verwerten. Es bestand weder nach deren Umbruch im Herbst oder Frühjahr, noch während oder nach der Folgekultur Sommergerste ein Risiko für den Grundwasserschutz. Für den Ertrag der Sommergerste war jedoch der Einfluss des Pflugeinsatzes auf diesem Standort im Versuchsjahr größer als jener der Biogasgülledüngung.

Stickstoffgehalt in Boden und Biomasse



Gesamtstickstoffgehalte in der oberirdischen Biomasse der Begrünung und $N_{\min}$ -Gehalte im Boden zu 4 Probenahmezeitpunkten.

Die Begrünungsmischung: leguminosenfrei und abfrostd

Kultur	% an Mischung	Saatstärke
Ölrettich	40 %	8 kg/ha
Phacelia	25 %	2,5 kg/ha
Sandhafer	15 %	12 kg/ha
Kresse	10 %	0,8 kg/ha
Leindotter	10 %	0,8 kg/ha
	100 %	24,1 kg/ha gesamt



Ölrettich dominierte die Begrünungsmischung mit Phacelia, Sandhafer, Kresse und Leindotter.

Erfahrungen von Robert Schneider

Dank der Kooperation mit der Biogasanlage kann ich den Großteil des Stickstoffs, den ich mit Klee gras gewinne, gezielt für nährstoffbedürftige Kulturen einsetzen. Das Abführen des Aufwuchses regt die Stickstoffbindung der Luzerne an und erhöht sie. Indem ich die Biogasgülle im Herbst in eine Begrünung ausbringe, kann ich Nitratverluste minimieren. Erfreulicherweise fördert die Kooperation sogar den Humusaufbau auf meinem Betrieb, und gleichzeitig kann Biogas erzeugt werden.



Das Luzernekleegras wird gemeinschaftlich in einer Silomiete gelagert.

• Kompostierung

Kompostierung ist die klassische Methode, um organische Reststoffe zu verwerten. Bei der Kompostierung werden die organischen Stoffe unter Luftzufuhr durch die Wirkung von Mikroorganismen in Verbindung mit chemischen und physikalischen Reaktionen zu humusähnlichem Material umgewandelt.

Kompost ist ein wertvoller Dünger und Bodenverbesserer. Er wirkt meist über Jahre, belebt den Boden und hat eine hohe Humuswirkung. Mit Kompost können auch regional Kreisläufe geschlossen werden und wertvolle organische Substanz und Nährstoffe in den Betrieb geholt werden.

Wann kommt Kompostierung in Frage?

Kompostierung als Möglichkeit der Verwertung kommt überall dort in Frage, wo grünes Pflanzenmaterial oder andere organische Reststoffe nicht sofort ausgebracht werden können.

Als Ausgangsmaterial kommen Mischungen von Strauchschnitt, Gemüseabfällen, Getreideausschutt, Futterresten, Stallmist, Aufwuchs von Dauergrünland, Naturschutzflächen, Klee gras, Luzerne, Zwischenfrüchten und Untersaaten, sowie Schilf, Miscanthus und holzigen Materialien in Frage.

Bei der Herstellung des Kompost-Ausgangsmaterials ist auf das Mischen von grünen und holzigen Bestandteilen zu achten, um ein geeignetes C/N-Verhältnis um 30 und ausreichend Struktur in der Kompostmiete zu erzielen. Die Feuchtigkeit des Materials sollte auf „erdfeucht“ eingestellt werden (Faustprobe).

Wenn bei der Kompostierung Temperaturen über 60–65 °C über mehrere Tage im gesamten Mietenkörper erreicht werden, stellt die Kompostierung auch eine Hygienisierung des Materials und eine Abtötung von Unkrautsamen sicher.

Wann kommt Kompostierung nicht in Frage?

Kompostierung benötigt einen geeigneten Platz für die Mieten (gesetzliche Regelungen und wasserrechtliche Vorschriften beachten!). Um eine gute Qualität des Kompostes zu erzielen, ist ein Kompostwender beinahe unumgänglich.

Wenn grüner Aufwuchs als Transfermulch direkt verwertet werden kann, sind die zusätzlichen Kosten für die Kompostierung des Materials vermeidbar und die direkte Verwertung sinnvoller.

• Kompostierung von Klee gras mit und ohne Kohlezugabe

Der Betrieb von Johannes Bergsmann liegt im oberösterreichischen Mühlviertel, in einer Grünlandgegend, ist jedoch viehlos und auf Kräuterproduktion spezialisiert. Aus diesem Grund entstand die Idee, Wiesenschnittgut und Klee gras mit Zusatz von Erde und Pflanzenkohle zu kompostieren. Der Betrieb legt den Kompost auf einem befestigten Kompostplatz an, wo er in der ersten Woche zwei Mal täglich gewendet wird, nachfolgend einmal pro Tag, insgesamt ca. 30-mal während der 4–8-wöchigen Kompostierungsdauer.

Um der Frage nach dem Nutzen der Zugabe von Pflanzenkohle bei der Kompostierung nachzugehen, wurden drei Varianten mit unterschiedlicher Kohlezugabe angelegt.

Die Kompostmieten setzen sich anteilmäßig am Trockengewicht folgendermaßen zusammen:

- V0: 0 % Kohle 20 % Erde 80 % Grünschnitt
- V1: 3 % Kohle 17 % Erde 80 % Grünschnitt
- V2: 6 % Kohle 17 % Erde 77 % Grünschnitt

Durch die Zugabe von Kohle wird der Miete in erster Linie Kohlenstoff beigelegt. Das Ergebnis, um die zugegebene Kohle bereinigt, zeigt, dass die Zugabe größerer Mengen Kohle zu einer gesteigerten Veratmung von Kohlenstoff und zu höheren Kohlenstoffverlusten während der Kompostierung führen kann¹⁰.

Bei Stickstoff blieben nach der Kompostierung zwischen 44 und 48 % des anfänglich vorhandenen

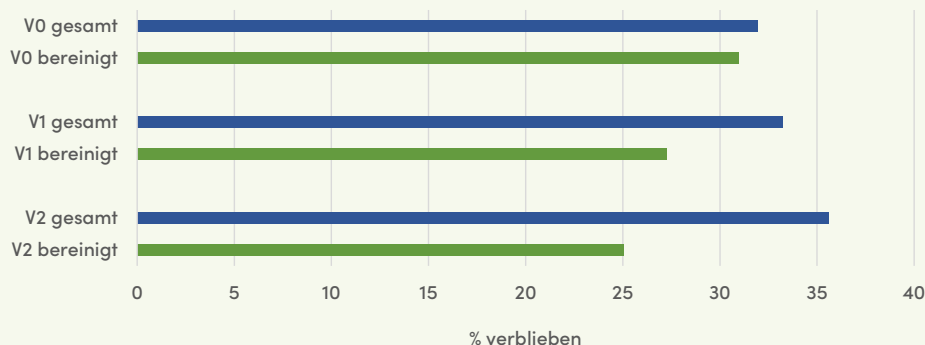
Stickstoffs erhalten. Auf den N-Gehalt des fertigen Kompostes und die N-Verluste während der Rotte hatte die Kohlezugabe somit keine wesentlichen Auswirkungen.

Durch die Kohlezugabe werden dem Kompost auch

Nährstoffe zugeführt, die bei der Berechnung der verbleibenden Nährstoffmengen beachtet werden müssen.

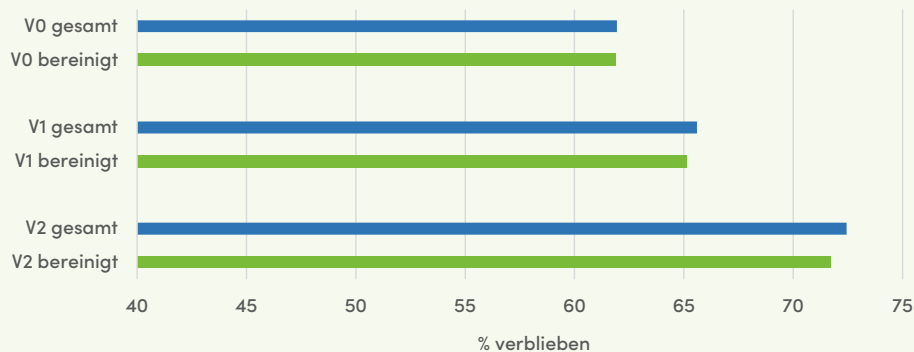
Bei Phosphor führte die Zugabe der hohen Kohlemenge zu einer leichten Erhöhung der Menge

Kohlenstoff – verfügbarer Anteil nach der Kompostierung



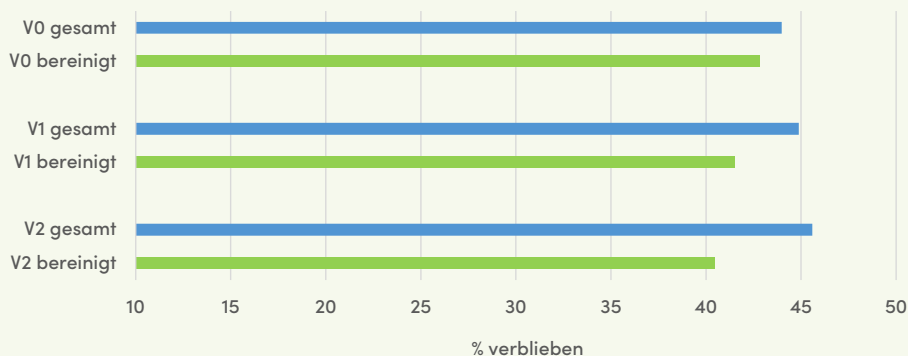
Verbliebener Kohlenstoff nach der Kompostierung in Prozent der anfangs vorhandenen Menge.
 „Gesamt“: Verbliebene C-Menge gemessen am Ausgangsmaterial
 „Bereinigt“: Verbliebene C-Menge abzüglich der mit Kohle und Erde zugegebenen C-Mengen, gemessen am Biomasse-Ausgangsmaterial

Kalium – verfügbarer Anteil nach der Kompostierung



Verfügbares Kalium (CAL) nach der Kompostierung in Prozent der anfangs vorhandenen Menge.
 „Gesamt“: Verbliebene C-Menge gemessen am Ausgangsmaterial
 „Bereinigt“: Verbliebene C-Menge abzüglich der mit Kohle und Erde zugegebenen C-Mengen, gemessen am Biomasse-Ausgangsmaterial

Magnesium - Verfügbarer Anteil nach der Kompostierung



Verfügbares Magnesium nach der Kompostierung in Prozent der anfangs vorhandenen Menge.
 „Gesamt“: Verbliebene C-Menge gemessen am Ausgangsmaterial
 „Bereinigt“: Verbliebene C-Menge abzüglich der mit Kohle und Erde zugegebenen C-Mengen, gemessen am Biomasse-Ausgangsmaterial

an pflanzenverfügbarem Phosphor im fertigen Kompost. Die Varianten V0 und V1 waren mit 31 und 30 % verfügbarem Phosphor nach Abzug der Kohle kaum unterschiedlich, V2 wies 35 % auf.

Bei Kalium stiegen durch die Kohlezugabe die verfügbaren Gehalte deutlich an. Kohle führte bei V1 zu ca. 3 % höheren Werten, bei V2 zu 10 % höheren

Werten als bei V0. Die höhere Verfügbarkeit dürfte durch die Erhöhung der Kationenaustauschkapazität durch die Kohle bedingt sein.

Anders bei Magnesium. In den Varianten mit Kohlezugabe war nach der Kompostierung geringfügig mehr Magnesium verfügbar, welches aber aus der Kohle stammte.



Fertige Kompostmieten



Anfangs ist bei der Kompostierung von Klee gras und Wiesenschnittgut häufiges Wenden notwendig.

Ökologische und ökonomische Bewertung

Für die Bewertung wurden die aus der Verbrennung fossiler Energieträger entstandenen Treibhausgasemissionen, die Arbeitsdauer und die kalkulatorischen Kosten berechnet und ^{4, 8, 11, 12, 14, 15}.

Um 1.000 kg Kohlenstoff auf das Nehmerfeld zu transferieren, wurde eine Geberfläche von 0,7 ha bewirtschaftet, ca. 16 t Klee gras (Frischmasse) geerntet, 1,6 t Erde und 0,3 t Kohle dem Klee gras beigefügt und eine Transportstrecke mit Frachtgewicht (inkl. der leeren Rückfahrt) von knapp 18 km zurückgelegt. Mit dieser Maßnahme wurden 61 kg im Kompost gebundener Stickstoff von der Geberfläche auf die Nehmerfläche transferiert.

Dabei entstanden insgesamt 278 kg CO₂e Emissionen durch die Maschinen- und Transportprozesse. Das Beladen des Ladewagens mit Klee gras und des Kompoststreuers mit Kompostmaterial verursachte mit etwa 86 kg CO₂e rund 31 % der Gesamtemissionen. Der Prozess Mähen des Klee grasses emittierte etwa 18 %, das Kompostwenden sowie die Ausbringung

des Kompostmaterials trugen jeweils 15 % zu den Gesamtemissionen bei. Die übrigen Teilschritte waren für die restlichen 21 % der Gesamtemissionen verantwortlich.

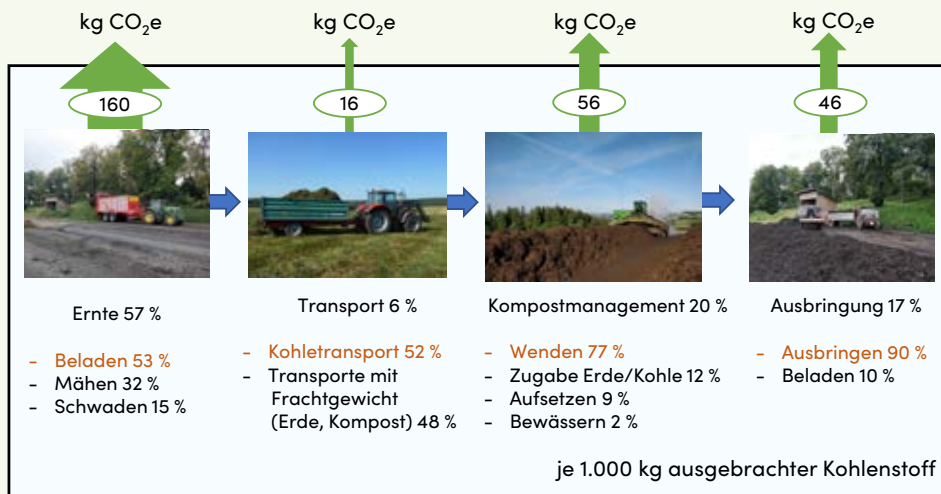
Das 34-malige Wenden des Kompostes war sowohl der zeit- als auch der kostenintensivste Teilschritt im vorliegenden Beispiel. Er dauerte 0,93 Stunden und kostete 131 €, das sind 16 % der Gesamtdauer und knapp 27 % der Gesamtkosten.

Um 1.000 kg Kohlenstoff auszubringen, wurden insgesamt 5,7 Maschinenstunden benötigt und es entstanden Kosten in Höhe von 488 €.

Um 100 kg Stickstoff auszubringen, wurden beim Beispiel „Klee grasskompostierung“ 9,3 Maschinenstunden benötigt, wofür Kosten von 795 €, um 95 € mehr als für 100 kg N in Form von handelsüblichen Bio-Düngern, anfielen. Durch die Maschinen- und Transportprozesse wurden dabei 202 kg CO₂e Emissionen ausgestoßen.

Kleegraskompostierung mit Kohle: ökologische Bewertung

Emissionen insgesamt: 278 kg CO₂e



• Mikrobielle Carbonisierung im Vergleich mit Kompostierung

In diesem Versuch wurde die „mikrobielle Carbonisierung“ (mC) nach Witte¹⁶ als mögliche Alternative zur üblichen Kompostierung getestet. Bei der mikrobiellen Carbonisierung soll ein anoxisches – sauerstoffarmes – Milieu geschaffen werden. Laut Witte sollen bei der mikrobiellen Carbonisierung geringere Kohlenstoffverluste im Prozess auftreten als bei der Kompostierung. Ziel ist es, ein kohlenstoffreiches Material zu erhalten, das wie Kompost auf landwirtschaftlichen Flächen ausgebracht werden kann. Dazu ist eine spezielle Rezeptur und spezielles

Aufsetzen der Miete erforderlich: 2/3 ligninreiches Material (Stroh, Hackschnitzel, „überständiges“ Heu) und 1/3 proteinreiches Material (Gülle, Mist, frischer Grünschnitt) sind die Substrate. Diese werden gut homogenisiert und feucht verdichtet, um eine kompakte Oberfläche zu erhalten.

Für den Praxisversuch wurden zwei Mieten angelegt: eine mC-Miete und eine betriebsübliche Kompostmiete. Beide Mieten hatten die gleiche Zusammensetzung des Ausgangsmaterials. Beide Mieten wurden nach

Ausgangsmaterial-Zusammensetzung der beiden Versuchsmieten

Die Materialien stammen vom eigenen Betrieb oder aus den benachbarten Gemeinden.

Kompostsubstrat	[kg]	[m ³]	Vol- % in der Mischung	C/N
Heu	440	5	21	35:1
Schafmist + Stroh	2700	3,6	15	19:1
Pferdemist frisch, strohlos	2200	3	13	25:1
Gerstenspreu (1-jährig)	1100	3,2	13	20:1
Sojaspreu	1800	5,6	24	14:1
Hackschnitzel	1075	3,2	13	213:1
Gesamt	9.315	23,5	100	43:1

dem Aufsetzen einmal mit dem Kompostwender durchgemischt. Die mC-Kompostmiete wurde mit einer Hülle aus Gerstenausputz versehen und mittels Frontlader rückverfestigt.

Nach dem Aufsetzen erreichten beide Mieten Temperaturen von rund 60–70 °C, die mC-Miete jedoch nur im Kern, nicht im Außenbereich. Die Kompostmiete zeigte nach den beiden Wendedurchgängen wieder Heißrottephasen mit über 70 °C, kühlte danach aber rascher ab, während die mC-Miete im Inneren deutlich länger Temperaturen von 40–50 °C aufwies.

Auch nach mehr als 5 Monaten unterschied sich das mC-Material schon optisch aufgrund seiner Klebrigkeit und der noch deutlich erkennbaren Ausgangsmaterialien von einem typischen Heißrottekompost. Der Prozess der mikrobiellen Carbonisierung war in der Miete sehr unterschiedlich weit fortgeschritten, in den Randzonen war weniger oder gar keine Umsetzung erfolgt.

Die Laboruntersuchungen bestätigten den unterschiedlichen Charakter und Kompostreifegrad. Der Kohlenstoffgehalt in der mC-Miete war mit 25,4 % um 3 % höher als beim betriebsüblichen Kompost. Der

höhere Sauerstoffverbrauch der mC-Miete im Oxitop-Test zeigt, dass hier die mikrobielle Aktivität noch höher und damit die Rotte noch voll im Gange war.

Fazit

Eine mikrobielle Carbonisierung wie von Witte beschrieben konnte im Versuch mit der mC-Miete trotz genauer Einhaltung der Mietenrezeptur und der Vorgangsweise nicht erreicht werden. Der Prozess verlief nur teilweise wie gewünscht, wie Optik und Analysen der Endmaterialien zeigen.

Der komplexe Mietenaufbau und die verbindliche „Mietenruhe“ erlauben es nicht, Anpassungen durch Kompostmanagement (z. B. Beimischen von Substraten, Wenden, Bewässern) im Laufe des Prozesses zu treffen. Der Trockenstandort sowie das Fehlen von Biogasgülle oder Gülle in der Region wirkten erschwerend. Durch das Rückverfestigen der frisch aufgesetzten mC-Miete wird ein mögliches Austrocknen der Miete verzögert. Die Form der Dreiecksmiete erwies sich für die mikrobielle Carbonisierung als wenig geeignet, wahrscheinlich wären Silomieten dafür vorteilhafter.



Foto links: Mietenkruste: Deutlich verklebte und verhärtete Substrate in der obersten Schicht der mC-Miete. Anders als beim Kompost waren hier die Ausgangssubstrate noch deutlich zu erkennen.

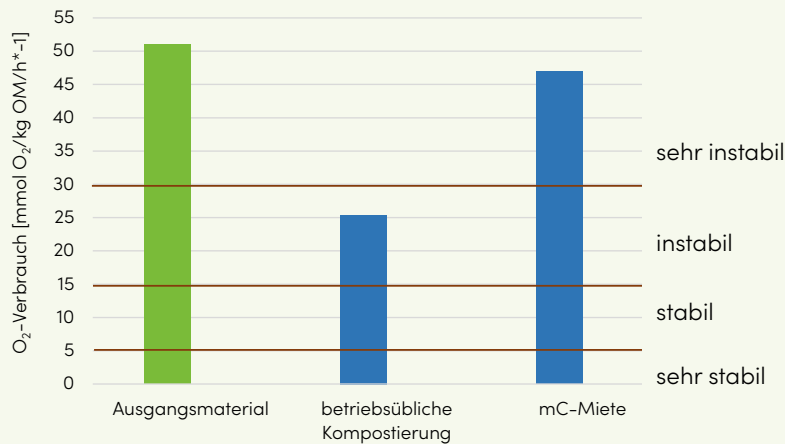
Foto rechts: Spatenprobe der mC-Miete nach 10 Wochen. Gut erkennbar ist der schichtweise erfolgte Umsetzungsprozess.

Erfahrungen von Josef Jugovits

Mit mehrmaligem Wenden kann die Kompostreife besser zeitlich gesteuert werden. Kompost kann also durch gezieltes, maschinelles Wenden für die Ausbringung im arbeitswirtschaftlich passenden Zeitraum vorbereitet werden. Ohne Kompostwender gelingt mit der mC-Miete zwar

eine Zwischenlagerung bei ausreichend feuchten Bedingungen, allerdings ist eine zeitliche Steuerung des Prozesses (ein „Befeuern“) nicht möglich. Die wichtigste Erkenntnis aber ist, dass es im und rund um den Betrieb zahlreiche „Wertstoffe“ gibt, die sich als Kompostsubstrate hervorragend eignen.

Kompostreifbestimmung (Oxitop®-Test)



Sauerstoffverbrauch nach Oxitop-Test von Ausgangsmaterial und beiden Mietenvarianten. Der betriebsübliche Kompost wird als reifer eingestuft als die mC-Miete.

Tonausbringung auf sandige Böden

Sandige und sorptionsarme Böden haben nicht nur eine sehr geringe Wasser- und Nährstoffspeicherfähigkeit, aufgrund des fehlenden Tonanteils ist auch die Möglichkeit zur Humusanreicherung sehr eingeschränkt. Im Rahmen des Projektes wurde am Stutenhof bei Michael Piatti-Fünfkirchen in einem Feldversuch mit der Bodenart „Lehmiger Sand bis Sand“² geprüft, ob die Zugabe von Ton dahingehend eine Verbesserung bringen kann. Zu diesem Zweck wurde aus der 9 km entfernten Tongrube in Neuruppersdorf Ton angeliefert und folgende Varianten angelegt:

- V0: keine Tonzugabe
- V1: Tonzugabe von 225 kg/ha. Das entspricht einer Beimengung von 0,001 % Ton zur Gesamtbodenmasse in 0-20 cm Tiefe.
- V2: Tonzugabe von 500 t/ha. Das entspricht einer Beimengung von etwa 1,8 % Ton zur Gesamtbodenmasse in 0-20 cm Tiefe.

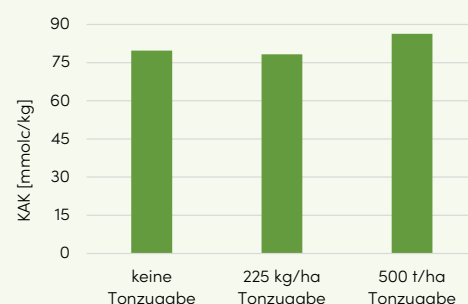
Eine Tonmineralanalyse des verwendeten Tons ergab eine von Smectit und Illit/Muscovit dominierte mineralische Zusammensetzung.

Eineinhalb Jahre später hatte noch keine ausreichende Durchmischung im Boden stattgefunden, kleine Tonbrocken waren noch gut sichtbar. Erst nach rund 30 Monaten waren die Tonbröckchen nicht mehr isoliert

in den Bodenproben erkennbar. Die Variante mit der hohen Zugabemenge zeigte eine deutlich erhöhte Kationenaustauschkapazität von 86 mmolc/kg im Vergleich mit 80 mmolc/kg in der Variante ohne Tonzugabe, sowie einen um 1,1 erhöhten pH-Wert von 7,3. Der Wassergehalt des Bodens war ebenfalls gegenüber der Variante ohne Ton um 1 % erhöht.

Der hohe einmalige Aufwand wird durch die extrem langfristige Wirkung der Maßnahme relativiert. Nun sollte es möglich sein, mit Hilfe von Begrünungen und Zufuhr organischer Materialien auch auf diesem Boden eine Humusanreicherung zu erzielen.

Kationenaustauschkapazität



Kationenaustauschkapazität in 0-20 cm Bodentiefe, 30 Monate nach Tonzugabe

• Hoftorbilanz bei Milchvieh und Ackerbau

Die landwirtschaftliche Fachschule Grottenhof liegt am westlichen Stadtrand von Graz. Es werden rund 50 ha landwirtschaftliche Nutzfläche bewirtschaftet. Seit 1987 wird der Grottenhof als Bio-Betrieb geführt. Im Stall stehen ca. 45 GVE Rinder, davon sind ca. 35 Milchkühe (der Rest sind Kälber, die Kalbinnen aufzucht ist ausgelagert). Die Flächen liegen weitgehend in der Ebene des Grazer Feldes und sind von mehrheitlich ertragsstarken Lockersediment-Braunerdeböden gekennzeichnet. Im Rahmen dieses Projekts wurde für den Grottenhof eine Betriebsbilanzierung für Kohlenstoff und Stickstoff durchgeführt.

Die Grünflächen werden zur Grundfuttergewinnung für die Rinder genutzt (Heu und Silage). Auf den Ackerflächen wächst Krafftutter für die Rinder und Speisegetreide für den Schulbetrieb und die Direktvermarktung.

Mit dem zweiten Betriebsstandort in Hardt (6 km entfernt) wird intensiv zusammengearbeitet (Tiere, Futter, Maschinen, etc.). Die Liegefläche im Milchviehstall ist als Kompoststall ausgeführt, die Kälber liegen auf Stroh. Die Milchkühe haben in der Weidesaison ständigen Zugang zur Weide. Die Betriebsbilanzierung für Kohlenstoff und Stickstoff erfolgte für die beiden Betrachtungsjahre 2020 und 2021.

Folgende Prozesse wurden bei der Betriebsbilanzierung betrachtet:

- **Futtergewinnung:** Stickstoffbindung der Leguminosen, Erntemengen mit Inhaltsstoffen, Erntekette (Mähen, Schwaden, Zetten, Ballen Pressen, Ladewagen, etc.), Heutrocknung
- **Stall:** Verwertung des Futters durch die Rinder, Erzeugung von Milch und Fleisch, Maschinen und Geräte im Stall (Melktechnik, Grubber für die Kompostfläche, etc.)
- **Dünger:** Düngieranfall der Milchkühe und Kälber, Düngerverluste im Stall, bei der Lagerung und der Ausbringung, Düngerausbringung

Datenerhebung:

Werte aus Analyseergebnissen:

- **Beprobtes Material:** Grundfutter, Krafftutter, Mist, Gülle, Einstreu

- **Probenwerte:** Kohlenstoff, Stickstoff, C/N-Verhältnis, Trockenmasse, Spurenelemente

Daten vom Grottenhof:

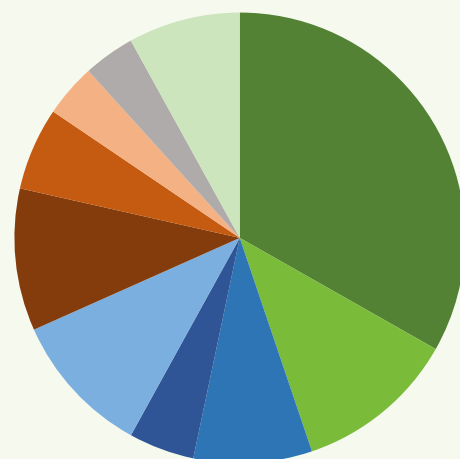
- Futtermittel und Düngung (inkl. Wiegen), Fuhrpark, Tierbestand
- Düngeranfallsmengen

Literaturwerte:

- Stickstoffeintrag durch Leguminosen^{1,13}
- Verluste bei der Düngelagerung^{5,9}
- Stickstoff- und Kohlenstoffmengen im Fleisch und in der Milch
- Methan- und Kohlendioxidemissionen der Rinder⁵



Aufteilung der landwirtschaftlichen Nutzflächen am Grottenhof



- Dauergrünland ■ Dauerweide
- Feldfutter ■ Ackerbohne
- Sojabohne ■ Wintertriticale
- Wintergerste ■ Winterweizen
- Winterdinkel ■ Winterroggen

Flächeneffizienz bei erneuerbarem Kohlenstoff und Stickstoff

Die höchsten Mengen an geerntetem Kohlenstoff und Stickstoff werden am Grottenhof nicht, wie man vielleicht vermutet, auf den Sojaflächen erzielt, sondern auf den Klee- und Luzerneflächen. Daneben liefern diese Futterleguminosen auch viel Kohlenstoff für den Boden und tragen so zum Humusaufbau bei.

Der Kohlenstoff, der über das Futter verwertet wird, landete im Jahr 2020 zu 18,4 % in Fleisch und Milch. 69,4 % finden sich im Wirtschaftsdünger wieder und bleiben damit im Kreislauf des Betriebs. Vom anfallenden Wirtschaftsdünger ab dem Tier gehen 16,1 % an Kohlenstoff bei der Lagerung und Ausbringung verloren (Basis 69,4 %). Die oft zitierten Methan- und CO₂-Emissionen belaufen sich auf 10,8 % des aufgenommenen Kohlenstoffs.

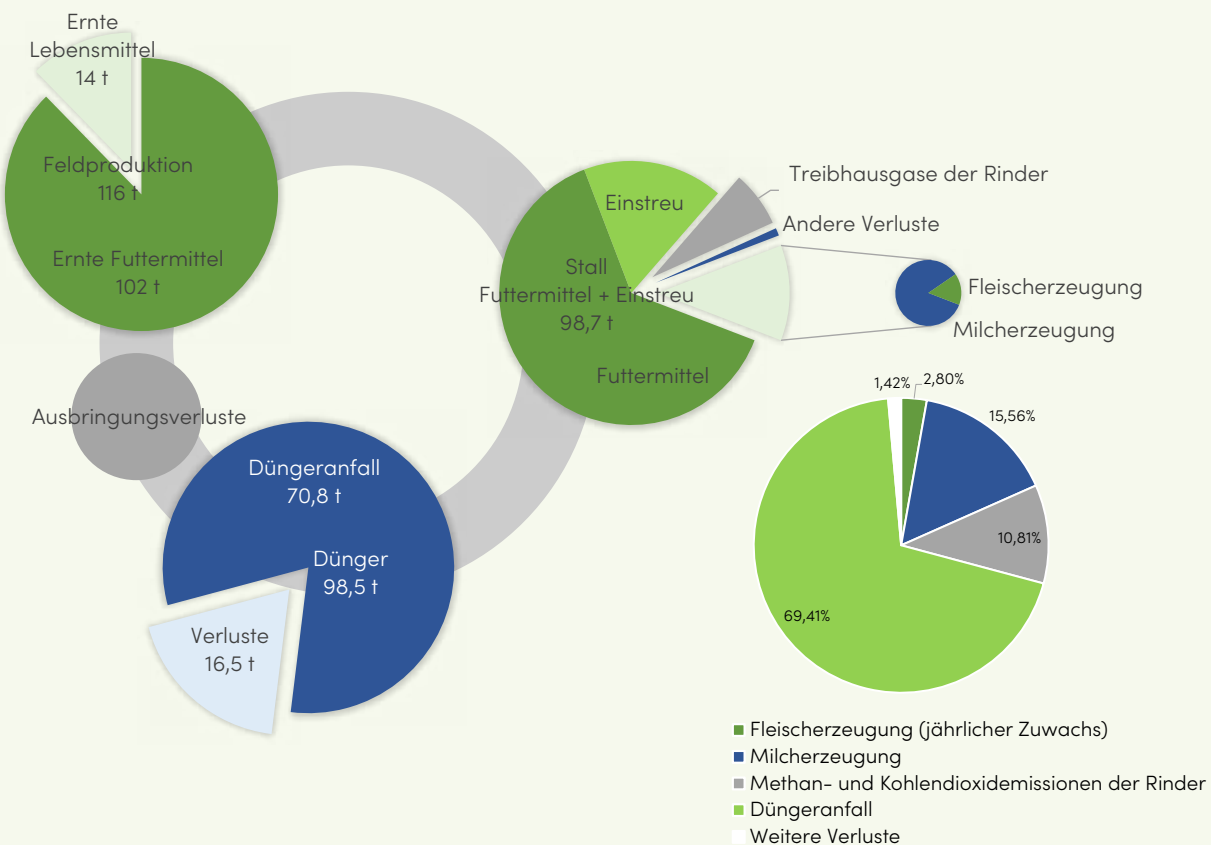
Bei der Humusbilanzierung⁶ ergibt sich beim Grottenhof ein Plus von 1.077 kg C/ha/Jahr (Fruchtfolge: + 17,1 kg C/ha/Jahr; Stroh und Gründüngung: + 152,6 kg C/ha/Jahr; Wirtschaftsdünger: + 907 kg C/ha/Jahr) –

dieser Wert liegt in einem sehr hohen Bereich und das müsste sich über die Jahre auch in einer Erhöhung des Humusgehalts durchschlagen.

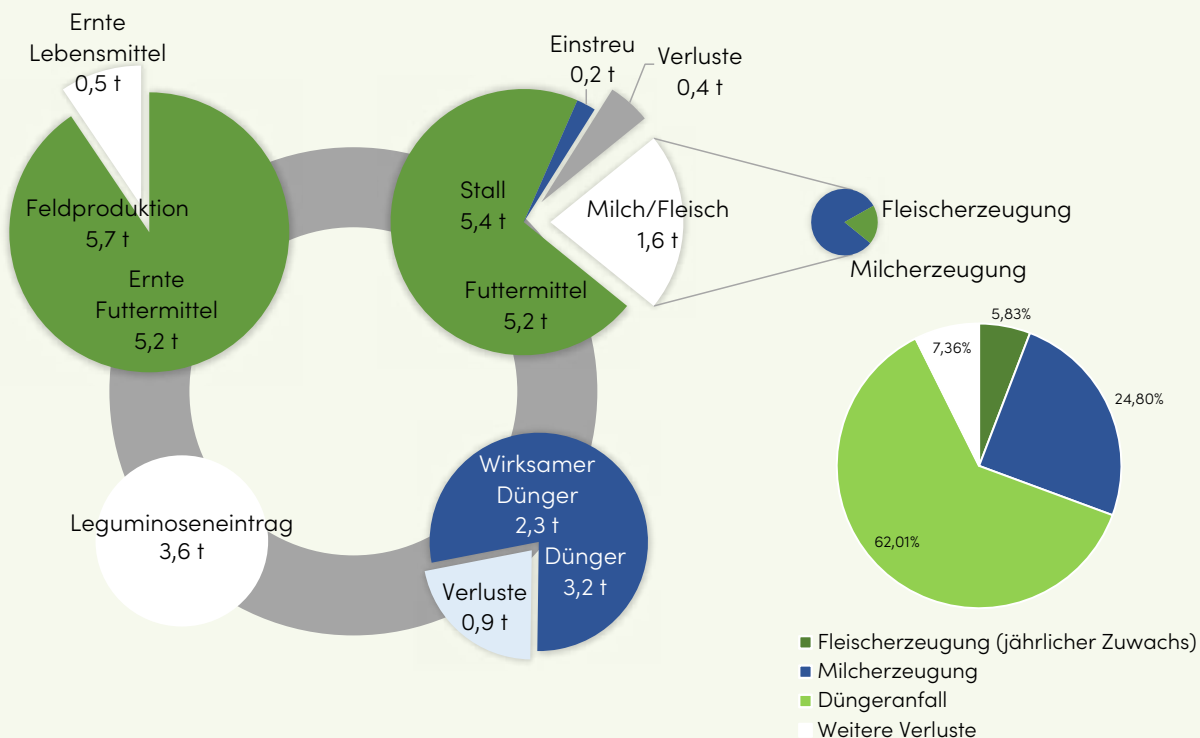
Beim Stickstoff geht etwas mehr in Milch (24,8 %) und Fleisch (5,8 %) als beim Kohlenstoff. 62,0 % finden sich im Dünger wieder, der Rest sind weitere Verluste. Mit Speisegetreide bzw. Marktfrüchten verlässt wesentlich mehr Stickstoff den Betrieb als bei Feldfutter. Beim „Veredelungsbetrieb“ Grottenhof gehen rund 30 % des Stickstoffs der Futtermittel in Form von Lebensmitteln vom Betrieb weg – der Rest verbleibt im Kreislauf und dient der Bodenfruchtbarkeit (ähnlich wie beim Kohlenstoff).

Beim Grottenhof kommt mehr Stickstoff über die Leguminosen in den Kreislauf, als Stickstoff über den Dünger im Kreislauf ist – 2021 waren es 57 % und 2020 60 % über die Leguminosen. Dazu leisten die Futterleguminosen Klee- und Luzerne einen erheblichen Beitrag.

Kreislauf des erneuerbaren Kohlenstoffs im Jahr 2020



Stickstoffbilanz



Ökologische und ökonomische Bewertung

Für die Ausführung der Maschinen-, Transport- und Anlagenprozesse wurden am Grottenhof Treibhausgasemissionen fossilen Ursprungs in Höhe von 32 Tonnen CO₂e berechnet^{4, 8, 11, 12, 14, 15}. Durch die Kreislaufbewirtschaftung wurden dem Betrieb 54 Tonnen Kohlenstoff und 2,3 Tonnen Stickstoff rückgeführt. Zudem wurden rund 135 t (TM) Heu, 52 t (TM) Krafffutter (Triticale, Gerste, Sojabohne, Ackerbohne), 49 t (TM) Stroh, 30 t (TM) Speisegetreide (Dinkel, Weizen, Roggen) und 19 t Silage erzeugt.

Insgesamt 67 % (21 t CO₂e) der Treibhausgasemissionen fossilen Ursprungs wurden durch die Futter- und Speisegetreideproduktion und 33 % (11 t CO₂e) durch den Stallbetrieb verursacht. Der Großteil (rund 80 %) der emittierten Treibhausgasemissionen des Stallbetriebes war auf den Stromverbrauch zurückzuführen. Die restlichen 20 % wurden beim Grubbern des Rinderstalls verursacht.

Die Heuproduktion war für insgesamt 6,6 t CO₂e Emissionen verantwortlich. Dabei wurden 60 % dieser Treibhausgasemissionen von den Maschinenprozessen

der Ernte (Mähen, Kreiseln, Schwaden, Mulchen, Grubbern, Anbauen und Beladen) verursacht, 24 % durch den Stromverbrauch der Heutrocknungsanlage emittiert, 9 % durch die Transportprozesse inkl. Frachtgewicht und 7 % durch das Düngemanagement (Güllefass befüllen, Gülle ausbringen, Kompost aufladen, Kompost ausbringen) ausgestoßen.

Die Erzeugung des Krafffutters emittierte in Summe 6,1 t CO₂e. 54 % dieser Treibhausgasemissionen wurden durch die Maschinenprozesse Ernten, Anbauen, Pflügen, Grubbern, Striegeln, Eggen und Beladen, 44 % durch das Düngemanagement und 3 % durch die Transportprozesse inkl. Frachtgewicht verursacht.

Durch die Produktion des Speisegetreides wurden 2,6 t CO₂e Emissionen verursacht. Der Großteil davon (73 %) wurde wieder beim Ernten, Anbauen, Pflügen, Grubbern, Striegeln und Beladen emittiert. Die übrigen 23 % der Treibhausgasemissionen wurden bei den Vorgängen des Düngemanagements und 3 % bei den Transportprozessen inkl. Frachtgewicht verursacht.

Bei der Stroherzeugung wurden 2,3 t CO₂e Emissionen ausgestoßen. Davon sind 96 % auf die Maschinenprozesse der Ernte (Dreschen, Schwaden, Pressen) zurückzuführen und 4 % auf die Transportprozesse inkl. Frachtgewicht.

Der Maschinentransfer zwischen den beiden Betriebsstandorten war für 1,9 t CO₂e beziehungsweise für 6 % der gesamten Treibhausgasemissionen am Grottenhof verantwortlich.

Am Grottenhof wurden durch die Rückführung von 2,3 t Stickstoff in Gülle und Mist Treibhausgasemissionen in Höhe von 18 t CO₂e, die bei der Produktion von synthetisch hergestelltem Stickstoff (Kalkammonsalpeter) anfallen würden, eingespart. Gleichzeitig ersparten Gülle und Mist Kosten in Höhe von rund 16.100 - 20.000 € (je nach betrachtetem Bio-Alternativdünger).

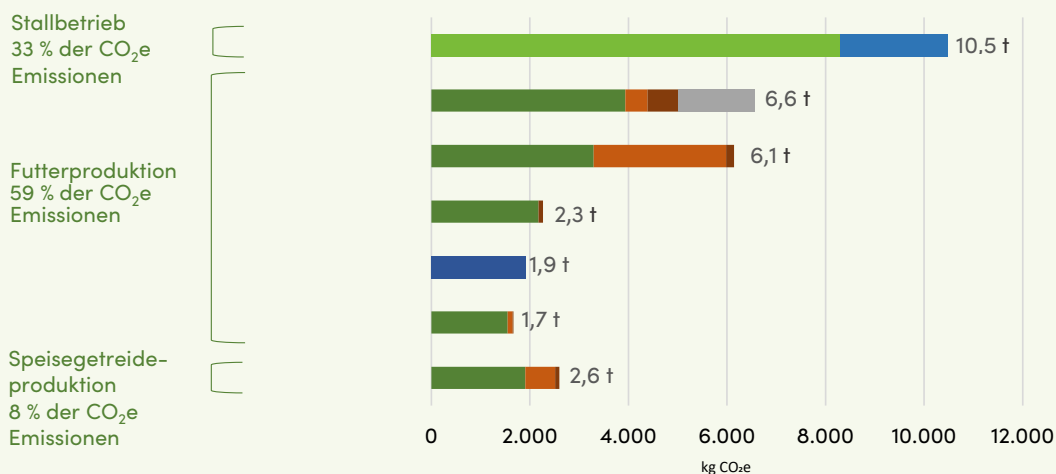
Fazit

- Etwa zwei Drittel des Kohlenstoffs und Stickstoffs bleiben nach der Verwertung über die Rinder im Dünger und somit im Betriebskreislauf
- Die höchsten Kohlenstoff- und Stickstoffmengen am Grottenhof pro ha und Jahr liefern die Klee- und Luzerneflächen

- Die Leguminosen (vor allem Futterleguminosen wie Klee- und Luzerne) liefern am Grottenhof wesentlich mehr Stickstoff als über den Wirtschaftsdünger auf die Flächen kommt – zusätzlich bringen sie auch viel Kohlenstoff für den Humusaufbau in den Boden
- Mit rund 8.000 kg fossilem C (32.000 kg CO₂) werden am Grottenhof jährlich rund 50 ha Lebensraum gepflegt und über 200.000 kg Milch und über 2.000 kg Fleisch, sowie 30.000 kg Speisegetreide erzeugt. Als Nebenprodukt fällt Dünger mit über 70.000 kg erneuerbarem Kohlenstoff an – das zeigt den Wert der Tierhaltung in der Landwirtschaft deutlich.



CO₂e Emissionen im Stallbetrieb und in der Futter- und Speisegetreideproduktion



- Ernte
- Transport mit Frachtgewicht inkl. Leerfahrten
- Grubbern des Kompoststalls
- Maschinentransfer
- Düngung
- Heutrocknung

Ergebnisse der ökologischen Bewertung für das Jahr 2020

● Klee gras: warum nicht einfach mulchen?

Im Biologischen Landbau haben auch viehlose Betriebe einen Anteil von Klee gras- oder Luzerne klee grasflächen in der Fruchtfolge, um Stickstoffversorgung und Unkrautunterdrückung zu gewährleisten. Wird der Klee gras aufwuchs einfach gemulcht und verbleibt an Ort und Stelle, so hat das den Nachteil, dass sich dadurch der Stickstoffgehalt im Boden erhöht. Infolgedessen verringert sich die weitere Stickstoff fixierung durch die Knöllchenbakterien auf der Fläche um 15–40 %. Bei einer üblichen Fixierleistung von 150 kg N-Hektar und Jahr sind das um 41 kg N/ha/Jahr weniger N-Fixierung.

Eine Abfuhr des Aufwuchses bietet die Möglichkeit, die Stickstoffdüngung am (Bio-) Betrieb gezielt zu steuern bzw. die Nährstoffe auf andere Felder umzuverteilen.

Aus Humus-Sicht gibt es keinen Grund, den Klee gras aufwuchs als Mulch am Feld zu lassen. Im Gegensatz zu Ackerkulturen wie Getreide oder Mais bringt ein Hauptnutzungsjahr einer Futterleguminose allein durch die Bodenruhe und die ausgeprägte, stickstoffreiche Wurzelmasse des Klee grasses zwischen 460 und 850 kg Humus-Kohlenstoff/ha/Jahr, je nach Standort und Boden. Damit ist eine maximale Humusanreicherung gewährleistet, die durch das Belassen des oberirdischen Aufwuchses nicht mehr

wesentlich erhöht wird⁶. Somit steht der oberirdische Aufwuchs als „mobiler“ Dünger oder als „Tauschware“ für konservierten Dünger, der später zeitgerecht ausgebracht werden kann, zur Verfügung.

Zum Vergleich mit den vorher beschriebenen Beispielen, bei denen der Klee gras aufwuchs abtransportiert wird, wurde am Beispiel des Betriebes Schneider das Szenario durchgerechnet, dass das Klee gras gemulcht wird und der gemulchte Aufwuchs am Feld liegen bleibt.

Pro Hektar Klee grasfläche verbleibt dabei ein Aufwuchs von 20,8 t Klee gras (Frischmasse), der 186 kg Stickstoff enthält, auf der Fläche. Es würden dabei insgesamt ca. 58 kg CO₂e Emissionen von fossilem Kohlenstoff durch das Mulchen ausgestoßen, 1 Stunde Arbeitszeit aufgewendet und Kosten in Höhe von 68 € verursacht werden.

Aus Sicht der Arbeitszeiteinsparung kann Mulchen natürlich auch Vorteile haben. Zu bedenken sind hier jedoch auch die Opportunitätskosten, also: Welchen Wert hätte ich mit dem Klee gras aufwuchs für meinen Betrieb generiert, wenn ich ihn abgeführt hätte, anstatt zu mulchen?



Futterleguminosen bringen maximale Humusanreicherung

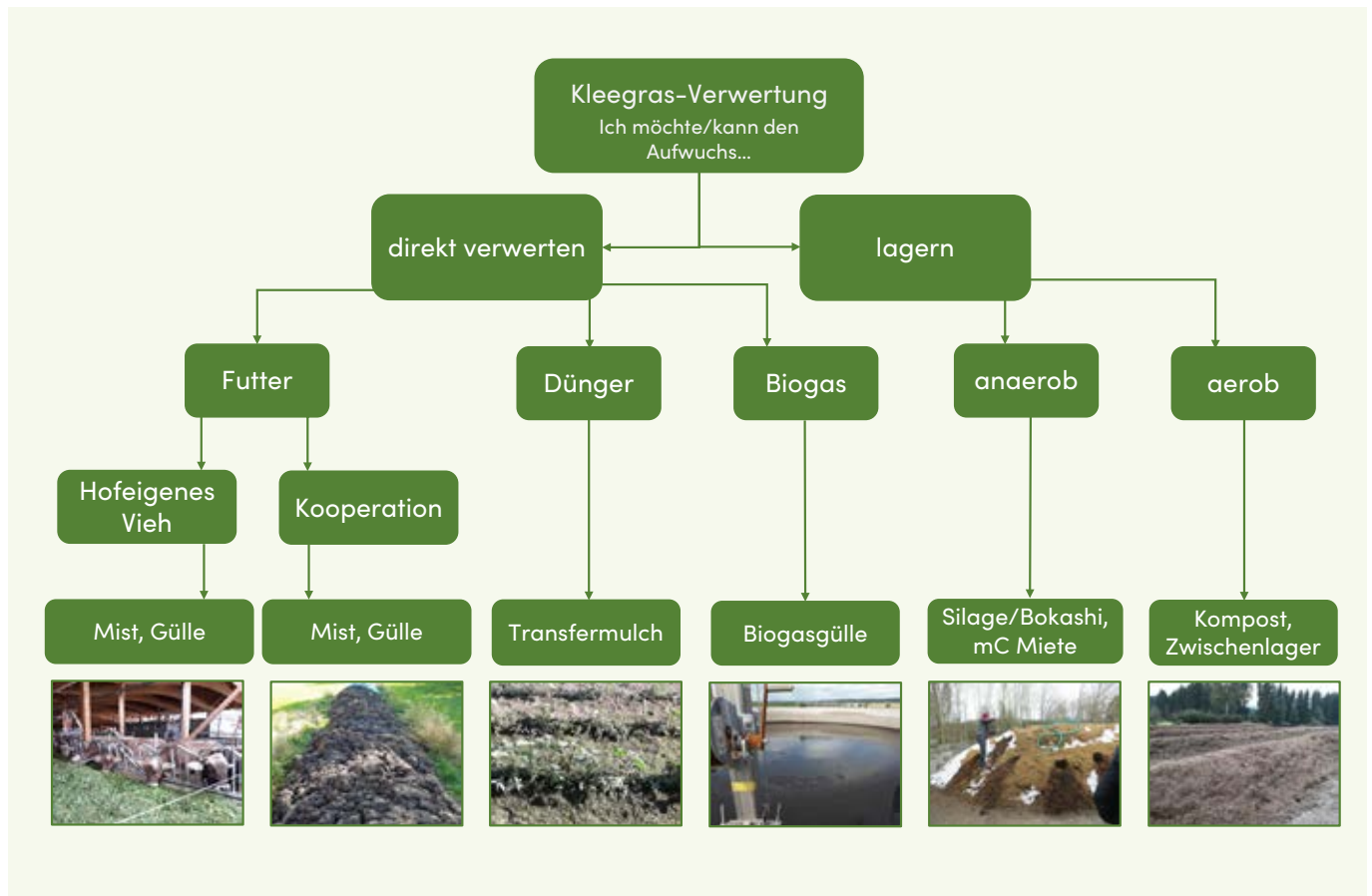


Mit der Abfuhr von Klee gras kann man die N-Düngung am (Bio-)Betrieb gezielt steuern

Vorteile der Klee grasabfuhr im Vergleich zu Mulchen^{1, 3, 6, 9, 13}

- 15–40 % mehr N₂-Fixierung
- 38 % weniger N₂O-Emissionen auf der Klee grasfläche
- 60 % weniger CH₄-Emissionen auf der Klee grasfläche
- verringertes Risiko von NO₃-Auswaschung ins Grundwasser
- N-Düngung am (Bio-)Betrieb gezielt steuern
- Humusanreicherung auf der Empfängerfläche

Entscheidungsbaum Klee grasverwertung



Je nach den Gegebenheiten vor Ort können auch viehlose Betriebe Klee gras unterschiedlich verwerten.

● Schlussfolgerungen aus der ökologischen und ökonomischen Analyse

43-95 % der CO₂e Emissionen werden durch die Maschinenprozesse der Klee gras-Ernte verursacht

Um die direkten Emissionen von Maschinenprozessen zu reduzieren, muss der Treibstoffverbrauch reduziert werden. Dies kann durch eine angepasste Motorisierung (optimale Abstimmung von Arbeitsbreite, Fahrgeschwindigkeit und Motorleistung) sowie die regelmäßige Wartung und korrekte Einstellung der Maschinen und Geräte erfolgen.

Die Transportentfernungen sind wesentlich für die CO₂e Emissionen

Mit zunehmender Transportdistanz steigt der Anteil der durch die Transporte verursachten Emissionen an den Gesamtemissionen steil an. Bei einer Distanz von 0,5 km machen die Transport-CO₂e-Emissionen im Mittel 3,4 % der Gesamtemissionen aus. Bei einer Distanz von 4 km sind es schon 22 % und bei 10 km verursachen die Transporte mit 41 % schon fast die Hälfte der Emissionen. Um die Transportemissionen zu reduzieren, sollte die Summe der gefahrenen Kilometer so gering wie möglich gehalten werden. Dies gelingt beispielsweise durch ein größeres Ladevolumen des Transportfahrzeuges (Reduktion der Emissionen je transportierter Masse) oder durch eine geringe Hof-Feld Entfernung. Weiters können Treibhausgasemissionen durch den Einsatz von Lastkraftwagen für Transporte anstelle von Traktoren eingespart werden. Verglichen mit Traktoren emittieren Lastkraftwagen um bis zu 50 % weniger Treibhausgase je Tonnenkilometer.

Verglichen mit dem Einsatz von synthetisch hergestelltem Stickstoffdünger, konnte mit allen Maßnahmen eine Nettoeinsparung von 200 – 600 kg Treibhausgasen (CO₂e) je 100 kg ausgebrachten Stickstoff erzielt werden

Für die Herstellung von 1 Kilogramm synthetischem Stickstoff (Kalkammonsalpeter) werden rund 8 kg CO₂e emittiert. Nicht inbegriffen sind jene Treibhausgasemissionen, die beim Transport des synthetischen Stickstoffdüngers von der Herstellungsstätte bis zum landwirtschaftlichen Betrieb entstehen. Ein Vergleich mit den Produktionsemissionen von

biotauglichen organischen Handelsdüngern war aufgrund fehlender Daten hierzu nicht möglich.

Die Treibhausgasemissionen für die Gewinnung und den Transfer von 1 Kilogramm Stickstoff durch die verschiedenen analysierten Maßnahmen zum „Kreisläufe schließen“ hingegen lagen zwischen 0,3 und 4,5 kg CO₂e.

Kostenvergleich mit Handelsdüngern

Im Vergleich mit anderen biotauglichen, organischen Handelsdüngern mit Preisen von rund 7 € pro kg Stickstoff erzielten alle Beispiele mit Ausnahme der „Güllekooperation“ und der „Klee graskompostierung mit Kohle“ eine Nettokosteneinsparung von ca. 130-400 € pro 100 kg N durch die Kreislaufbewirtschaftung. Im Vergleich mit synthetisch hergestellten Stickstoffdüngern (Kalkammonsalpeter) mit einem Preis von rund 1 € pro kg N zum Zeitpunkt des Projektendes hatten alle durchgeführten Maßnahmen Mehrkosten von ca. € 200-770 pro 100 kg ausgebrachtem Stickstoff. Bei den Kreislauf-Düngemaßnahmen liegt der Stickstoff in organischer Form vor. Zusätzlich zum Stickstoff werden alle weiteren essentiellen Makro- und Mikronährstoffe sowie Spurenelemente harmonisch mit gedüngt.

Klimaschädlich ist auch teuer

Die Bewertungen zeigen, dass jene Maßnahmen mit höheren Emissionen an CO₂e auch in puncto Kosten teurer sind. So hatten die effizientesten Maßnahmen stets die niedrigsten Emissionen und niedrigsten Kosten, die ineffizientesten Maßnahmen stets die höchsten Emissionen und höchsten Kosten.

● Literatur

1. Benke, A. P.; Rieps, A.; Wollmann, I.; Petrova, I.; Zikeli, S. and Möller, K. (2017) Fertilizer value and nitrogen transfer efficiencies with clover-grass ley biomass based fertilizers, *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 107, pp. 395–411.
2. BFW (2022) eBod Digitale Bodenkarte. <https://bodenkarte.at/>.
3. Charles, A. et al. (2017) Global nitrous oxide emission factors from agricultural soils after addition of organic amendments: A meta-analysis, *Agriculture, Ecosystems and Environment* 236, pp. 88–98.
4. Greenhouse Gas Protocol (no date) GHG Protocol Agricultural Guidance., Greenhouse Gas Protocol. <https://ghgprotocol.org/>.
5. Kappel, M. (2020) Ökobilanzierung von Milchviehstallsystemen im österreichischen Berggebiet – Vergleich von Anbindehaltung und Laufstall-Weide-Systemen mit besonderer Berücksichtigung des Wirtschaftsdüngermanagements. Universität für Bodenkultur Wien.
6. Kolbe H. (2007) Einfache Methode zur standortangepassten Humusbilanzierung von Ackerland unterschiedlicher Anbauintensität. In: Zikeli S., Claupein W., Dabbert S., Kaufmann B., Müller T., Valle Zárate A. (Hrsg.): *Zwischen Tradition und Globalisierung. Beiträge zur 9. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau*. pp. 5–8. Verlag Dr. Köster, Berlin.
7. Kupper, T. und Häni, C. (2018) Ammoniakemissionen aus einem Güllelager. Bericht Messperiode 2015–2018. Ungedecktes und gedecktes Lager. Edited by Berner Fachhochschule. Eigenverlag.
8. Moitzi, G. (2006) Möglichkeiten zur Kraftstoffeinsparung – Richtiger Einsatz von Maschinen und Geräten im Ackerbau', *Fachzeitschrift ländlicher Raum*. <https://info.bmlrt.gv.at/themen/regionen-raumentwicklung/Online-Fachzeitschrift-Laendlicher-Raum/archiv/2006/moitzi.html>.
9. Möller K., und Stinner, W. (2020) Effects of different manuring systems with and without biogas digestion on soil mineral nitrogen content and on gaseous nitrogen losses (ammonia, nitrous oxides, 2008)', in Zikeli, S. (ed.) *Möglichkeiten der Klee grasverwertung im vieharmen Ackerbau*.
10. Mondini, C., Sinicco, T., Vandecasteele, B. and D'Hose, T. (2016) Potential of biochar in composting: effect on process performance and greenhouse gas emissions, *Acta Horti*, 1146, pp. 251–256. doi: DOI: 10.17660 ActaHortic.2016.1146.33.
11. ÖKL (2021a) Richtwerte online. <https://oekl.at/richtwerte-online/>.
12. ÖKL (2021b) Kraftstoffverbrauch in der Land- und Forstwirtschaft. doi: <https://oekl.at/oekl-richtwertekraftstoffverbrauch/>.
13. Pietsch, G. and Friedel, J. K. (2007) Was Leguminosen bringen, *Bio Austria Zeitung*, 4.
14. Umweltbundesamt (2021) Berechnung von Treibhausgas (THG)-Emissionen verschiedener Energieträger. <https://secureumweltbundesamt.at/co2mon/co2mon.html>.
15. Umweltbundesamt (2022b) Ökologische Bewertung. <https://www.umweltbundesamt.de/tags/oekologischebewertung>.
16. Witte, W. (2013) *Die Mikrobielle Carbonisierung. Das ist Humus – so sieht er aus*. Jürgen Kannemann Verlag.

● Nährstoffgehalte verschiedener landwirtschaftlicher Materialien

Materialart	TS	C	N	C/N Verhältnis	P ₂ O ₅	P ₂ O ₅ *	K ₂ O	K ₂ O*	Ca	
	%	% TS	% TS		% TS	% TS	% TS	% TS	% TS	
Grünlandaufwuchs										
Median	81	46	2,2	22	0,6		2,2		0,7	
Min	14	43	1,1	12	0,3		0,9		0,3	
Max	101	49	3,9	43	1,1		5,6		1,2	
Kleegras/Luzernegras										
Median	90	45	2,5	18	0,6		3,2		1,2	
Min	20	42	1,7	14	0,3		2,4		0,6	
Max	96	47	3,8	28	0,9		4,8		3,0	
Naturschutzbewuchs, überständig (Binsen, Schilf, Gräser)										
Median	82	46	0,6	84	0,0		0,1		0,3	
Min	77	45	0,4	67	0,0		0,1		0,3	
Max	91	48	0,7	107	0,0		0,3		0,8	
Kompost (aus Schaf- & Pferdemist, Heu, Hackschnitzeln, Gersten- und Sojaausputz)										
Median	46	21	1,5	12	0,9		1,9		2,3	
Min	37	10	0,8	9	0,4		0,8		0,8	
Max	72	38	2,8	19	1,4		2,7		2,7	
Kompost (aus Kleegras und Grünlandaufwuchs, Kohlezugabe)										
Median	60	21	1,3	14	0,7	0,4	2,4	3,0	1,4	
Min	22	10	0,9	10	0,6	0,2	1,5	2,0	1,0	
Max	71	44	3,5	25	1,1	1,3	4,0	8,7	2,5	
Kompost (alle)										
Median	57	21	1,4	14	0,8	0,4	2,4	3,0	1,5	
Min	22	10	0,8	9	0,4	0,2	0,8	2,0	0,8	
Max	72	44	3,5	25	1,7	1,3	4,8	8,7	3,8	
Stroh										
Median	77	46	0,4	113	0,2		0,8		0,2	
Min	47	44	0,3	52	0,1		0,5		0,1	
Max	97	49	0,9	155	0,4		2,7		0,4	
Rindermist										
Median	22	37	3,3	13	1,8		3,9		2,3	
Min	19	32	2,2	11	1,3		2,6		1,6	
Max	26	41	3,7	16	2,1		5,1		4,5	
Pferdemist										
Median	35	30	1,2	26	0,9		2,1		0,7	
Min	22	24	0,9	25	0,7		1,7		0,1	
Max	48	36	1,4	26	1,1		2,6		1,4	
Rindergülle										
Median	4,0	39	3,7	10	1,8		8,4		2,2	
Min	1,1	31	3,0	7	1,5		5,4		0,1	
Max	7,9	43	5,5	13	3,0		17,3		3,6	
Biogasgülle (aus v.a. Luzernegras)										
Median	2,8	37	14,2	3	1,5		15,2		2,1	
Min	2,0	34	9,0	2	0,3		10,9		1,9	
Max	3,6	41	16,7	4	2,0		18,1		2,9	

* „pflanzenverfügbare“ Gehalte (CAL Extrakt)

Wo nicht anders angegeben, handelt es sich um Gesamtgehalte.

	Mg	Mg*	Cu	Zn	Fe	Mn	B	Mo	pH
	% TS	% TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	
	0,2		7,4	21	362	49	7	1,0	
	0,1		4,0	12	51	15	1	<1,1	
	0,5		11,3	31	2518	194	16	4,8	
	0,2		8,0	21	121	33	13	<1,1	
	0,2		5,1	12	58	16	6	<1,1	
	0,4		10,2	28	694	59	39	1,8	
	0,1		2,1	21	97	43	5		
	0,1		1,1	14	62	25	3		
	0,1		3,3	41	114	77	11		
	1,1		34,1	97	21610	685		<1,0	7,2
	0,6		16,2	69	7456	357		<1,0	7,1
	1,5		50,4	236	28601	961		<1,0	7,5
	0,6	0,1	10,4	60	15084	320			
	0,6	0,1	7,9	51	8947	247			
	0,7	0,4	17,5	88	19006	440			
	0,7	0,1	12,1	67	16105	361			
	0,6	0,1	7,9	51	2417	247			
	1,5	0,4	50,4	236	28601	961			
	0,1		2,2	6	73	12		<1,1	
	0,0		1,2	3	33	6		<1,1	
	0,1		6,0	12	111	43		3,1	
	0,8		42,3	159	3375	308		1,5	8,3
	0,6		29,0	122	2425	232		0,9	7,9
	1,1		59,6	203	5059	643		2,4	8,4
	1,2		17,0	71	8135	398			
	0,8		15,9	69	6314	381			
	1,6		18,2	73	9955	415			
	0,9		39,9	165	3426	300		4,4	
	0,7		28,4	105	1369	220		1,5	
	1,4		53,3	232	9125	501		7,0	
	0,4		42,6	181	7148	240		16,2	
	0,3		38,9	163	6924	219		6,9	
	0,6		84,8	216	9785	295		19,0	



Kontakt:

Bio Forschung Austria

Esslinger Hauptstr. 132-134
A-1220 Wien, Österreich
www.bioforschung.at

Tel.: +43 1 4000 49 150
E-Mail: office@bioforschung.at