

# Feldlagerung von Mist: Verringerung der Kalium-Verluste um einen Faktor von 3 - 4

*Ergebnisse eines Versuches in Betrieben des Terraé-Netzwerkes (2022-2025) - kompletter Bericht*

Antoine STIFKENS und Simon LERICHE

Fourrages Mieux - 2025



## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	3
2	Material und Methode.....	3
3	Resultate.....	6
3.1	PHASE 1 : Mistanalysen und GERECHNETE Verluste.....	6
3.2	PHASE 2 : Mistanalysen und GEMESSENE Verluste.....	9
3.3	Entwicklung der Kalium-Verluste je nach Niederschlagsmenge .....	11
3.4	Kosten der Abdeckung .....	12
3.5	Visueller Aspekt des Mist.....	12
4	Diskussion und Interpretation .....	13
4.1	Agronomischer Nutzen.....	13
4.2	Ökonomischer Nutzen .....	14
4.3	Ökologischer Nutzen.....	15
4.4	Mehrwert zur landwirtschaftlichen und ernährungspolitischer Souveränität.....	16
5	Schlussfolgerungen und Empfehlungen.....	16
5.1	Zusammenfassung der wichtigsten Aspekte.....	16
5.2	Empfehlungen für Landwirte.....	16
5.3	Perspektiven für zukünftige Versuche.....	17
6	Danksagungen.....	18
7	Bibliographie .....	19

# 1 Einleitung

Mist aus der Viehhaltung ist eine wertvolle Ressource für die Erhaltung der biologischen, chemischen und physikalischen Bodenfruchtbarkeit. Seine angepasste Nutzung ist unerlässlich, um Nährstoffverluste zu begrenzen, insbesondere in Biobetrieben und Betrieben, die nach Autonomie streben und in denen die Kosten für Düngemittel hoch sind.

Nährstoffverluste können zu mehreren Zeitpunkten auftreten: während der Manipulation, Lagerung und Ausbringung von Mist. Die Etappe, mit der wir uns hier befassen, bezieht sich auf die Feldlagerung. Werden Misthaufen nicht abgedeckt, sind sie den Witterungseinflüssen ausgesetzt: Regen wäscht den Haufen aus, was zu Nährstoffverlusten durch Abfluss oder Versickern führt.

Ziel des durchgeführten Versuchs war es, diese Verluste von in der Wallonie gelagerten Misthaufen zu messen und die agronomischen, wirtschaftlichen und ökologischen Vorteile einer Abdeckung mit Polypropylen-Planen (Geotextil), die gasdurchlässig sind, aber vor Regen schützen, auszuwerten. Diese Praxis ist sowohl auf regionaler, als auch auf internationaler Ebene noch wenig dokumentiert.

## **Kontext in der Wallonie**

In der Wallonischen Region ist die Feldlagerung von Mist während einer relativ langen Periode von bis zu 9 Monaten erlaubt ([PGDA IV](#)). In Nachbarregionen gelten allgemein strengere Regeln. In Flandern beispielsweise ist die Feldlagerung nur bei einer zeitnahen Ausbringung gestattet für eine Höchstdauer von 2 Monaten. In Deutschland, erlauben Rheinland Pfalz und Baden Württemberg die Feldlagerung nur ausnahmsweise für höchstens 6 Monate und verbieten sie komplett für einen Teil des Jahres (Dezember – Januar), oder je nach Situation ab Ernte der Hauptkultur bis zum Januar. In Frankreich erlauben die Regionen Grand Est und Hauts-de-France die Lagerung im Winter nur auf Grünland oder wenn der Haufen abgedeckt oder auf absorptionsfähigem Untergrund gelagert wird. Somit zeichnet sich die Wallonie durch eine weniger strenge Regelung aus, was dazu führt, dass eine lange Feldlagerung häufiger praktiziert wird, als in den Nachbarregionen.

# 2 Material und Methode

Die Versuche wurden zwischen Frühjahr 2023 und Herbst 2025 auf 9 wallonischen Betrieben des Terraé-Netzwerkes, in zwei verschiedenen Phasen und mittels zwei unterschiedlichen Methoden durchgeführt.

## **PHASE 1 (04/2023 – 01/2024) : Methode der Massenbilanz auf Basis des Phosphors**

Zuerst einmal wurden die Versuche an 10 Misthaufen aus verschiedenen Betrieben angelegt: Rinder (7), Schafe (2) und Ziegen (1). Jeder Haufen wurde zu Beginn der Feldlagerung beprobt und analysiert und anschließend teilweise mit einer mit Sandsäcken beschwerten Polypropylenplane (Toptex®) (12,5 m x 5 m) abgedeckt. Unmittelbar vor der Ausbringung wurden zwei Proben aus dem Haufen zur Analyse gezogen: eine unter der Plane und eine im nicht abgedeckten Bereich. Die Haufen wurden zwischen 3 und 8 Monate gelagert und bekamen währenddessen 196 und 681 l/m<sup>2</sup> Regen ab (im Durchschnitt: 4,7 Monate und 361 mm Regen).

Anstatt die Entwicklung der Nährstoffgehalte des Mistes zu analysieren, haben wir eine theoretische Massenbilanz berechnet, um die Gesamtnährstoffverluste zu erfassen. Der Phosphorgehalt ( $P_2O_5$ ) diente als Referenzwert, da davon ausgegangen wird, dass Phosphor nicht durch Auswaschung verloren geht. Es wurde folgende Formel angewendet:

$$\text{Massenverluste des Haufens (\%)} = \left(1 - \frac{\text{Ausgangsgehalt an } P_2O_5}{\text{Endgehalt an } P_2O_5}\right) * 100$$

Die Methode der Massenbilanz auf Basis des Phosphors basiert auf 2 essenziellen Bedingungen:

- ✓ Die Aussagefähigkeit der Proben: die Proben müssen komplett repräsentativ des Haufens sein, sowohl zu Beginn der Feldlagerung, als auch zum Ausbringungszeitpunkt.
- ✓ Keine Phosphorverluste: diese Methode setzt voraus, dass im Haufen keinerlei Verluste von Phosphor aufkommen.

### **PHASE 2 (05/2024 – 11/2024 und 05/2025 – 08-2025) : Methode der eingegrabenen Säcke**

Für diese zweite Phase wurde das Protokoll auf der Grundlage der aus Phase 1 gewonnenen Erkenntnisse angepasst. Dieser Versuch konzentrierte sich auf zwei Misthaufen in Tenneville (Provinz Luxemburg), jedoch mit mehr Messungen und Analysen. Der erste Haufen blieb 167 Tage auf dem Feld und bekam  $495 \text{ l/m}^2$  Regen ab. Der zweite blieb 99 Tage auf dem Feld und bekam  $238 \text{ l/m}^2$  ab.<sup>2</sup>

Um sicher zu sein, dass der am Ende der Lagerung analysierte Mist dem ursprünglich, bei Beginn der Lagerung analysierten Mist, identisch ist, kam die Methode der eingegrabenen Säcke zum Einsatz. Bei dieser Technik werden repräsentative Proben in durchlässige Säcke gefüllt, die bei Beginn der Lagerung im Misthaufen vergraben und am Ende der Lagerungszeit wieder entnommen werden. Für jede der beiden Varianten (abgedeckt und nicht abgedeckt) wurden drei Säcke in drei unterschiedlichen Höhen im Haufen eingegraben.

Darüber hinaus wurden die kompletten Haufen sowie die eingegrabenen Säcke vor und nach der Lagerung gewogen, um den tatsächlichen Masseverlust genau zu messen. Die Verluste werden berechnet, indem die Masse zum Ende der Lagerung von denen zu Beginn der Lagerung abgezogen werden. Diese Mengen werden durch Multiplizieren der Frischmassen mit den entsprechenden gemessenen Konzentrationen zu Beginn und am Ende der Lagerungsperiode berechnet.

Diese Methode ermöglichte es auch zu überprüfen, ob die Phosphorverluste während der Lagerung tatsächlich unsignifikant sind, was eine wesentliche Voraussetzung für die Gültigkeit der Massenbilanz ist, auf deren Grundlage die Verluste in Phase 1 berechnet wurden.

c)

Abbildung 1 : a) Wiegen der Kipper. b) Ablegen der Haufen : einer wird abgedeckt und einer nicht. c) Füllen der Polyester-Wäschesäcke 60 x 80 cm und Beprobung eines Sackes. d) Eingraben der Säcke auf 3 verschiedenen Höhen



## 3 Resultate

### 3.1 PHASE 1 : Mistanalysen und ERRECHNETE Verluste

Tabelle 1: Analyseergebnisse (kg/t oder % der Frischmasse) von frischem Mist, zu Beginn der Feldlagerung je nach Art (Rind, Schaf, Ziege) und Vergleich mit den Normen des PGDA.

Parameter	Rinder (n=7)			Schafe (n=3)		Ziegen (n=1)
	Mittelwert	Min-Max	Normen PGDA	Mittelwert	Min-Max	
TM (%)	24,8	21,1 – 29,9	-	32,3	31,4 – 33,2	28,5
OM (%)	18,8	15,4 – 23,4	-	26,2	26,1 – 26,3	20,3
RA (%)	4,7	3,7 – 6,1	-	6,8	5,6 – 8,0	5,9
unl. Asche (%)	1,4	0,7 – 1,9	-	2,0	1,2 – 2,7	2,5
Gesamt N (kg/t FM)	6,3	5,3 – 8,3	<b>5,9</b>	7,8	7,8 – 7,8	6,9
N-NH <sub>4</sub> (kg/t FM)	1,1	0,3 – 1,9	-	1,2	1,1 – 1,3	1,3
K <sub>2</sub> O (kg/t FM)	10,8	7,6 – 14,8	<b>8,9</b>	17,8	15,7 – 20,0	10,3
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/t FM)	2,6	1,8 – 3,5	<b>3,8</b>	4,1	3,9 – 4,2	3,6
Na <sub>2</sub> O (kg/t FM)	0,8	0,4 – 1,2	-	1,4	0,8 – 2,1	1,5
MgO (kg/t FM)	1,5	0,9 – 2,2	<b>2,1</b>	2,0	1,8 – 2,1	1,7
CaO (kg/t FM)	5,4	2,9 – 8,6	<b>6,1</b>	5,7	5,6 – 5,8	4,5

TM : Trockenmasse, OM : organische Materie, RA: Rohasche, unl. Asche : unlösliche Asche, N : Stickstoff, N-NH<sub>4</sub> : Ammonium-Stickstoff, K<sub>2</sub>O : Kalium (Kalium-Oxid), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : Phosphor (Phosphor-Pentoxid), Na<sub>2</sub>O : Natrium-Oxid, MgO Magnesium-Oxid, CaO : Kalzium-Oxid, FM : Frischmasse.

#### Variabilität der Resultate

Innerhalb des Mist derselben Tierart werden erhebliche Schwankungen beobachtet. Bei Rindern beispielsweise kann der Kalium- oder Phosphorgehalt um das Doppelte variieren, während der Stickstoffgehalt von Probe zu Probe um bis zu 50 % höher sein kann. Diese Unterschiede machen deutlich, dass Mist nicht gleich Mist ist. Vor diesem Hintergrund ist eine periodische Mistanalyse sinnvoll. Sie ermöglicht eine bessere Kenntnis der Qualität der ausgebrachten Materie und die Ausbringungsdosis an die Bedürfnisse der Kulturen anzupassen

#### Vergleich mit den Normen des PGDA

Die analysierten Frischmiste von Rindern sind durchschnittlich etwas reichhaltiger an Stickstoff und Kalium, als die Normen des PGDA. Sie enthalten hingegen weniger Phosphor.

Tabelle 2 : Resultate der Mistanalysen vor und nach der Lagerung, alle Tierarten (Nährstoff-Konzentration in den Haufen).

Parameter	Tag 0 (n=10)	Tag 144 (361 l/m <sup>2</sup> ) (n=14)	
		unbedeckt	bedeckt
TM (%)	26,7	25,7	28,4
OM (%)	20,5	15,7	17,1
RA (%)	5,2	9,9	10,9
unl. Asche (%)	1,6	5,5	5,7
Gesamt N (kg/t FM)	6,6	6,8	7,6
N-NH <sub>4</sub> (kg/t FM)	1,1	0,9	1,0
K <sub>2</sub> O (kg/t FM)	12,2	13,3	16,1
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/t FM)	3,0	4,3	4,3
Na <sub>2</sub> O (kg/t FM)	1,0	1,1	1,2
MgO (kg/t FM)	1,6	2,6	2,8
CaO (kg/t FM)	5,4	8,1	9,6
C/N	17,2	12,9	12,5

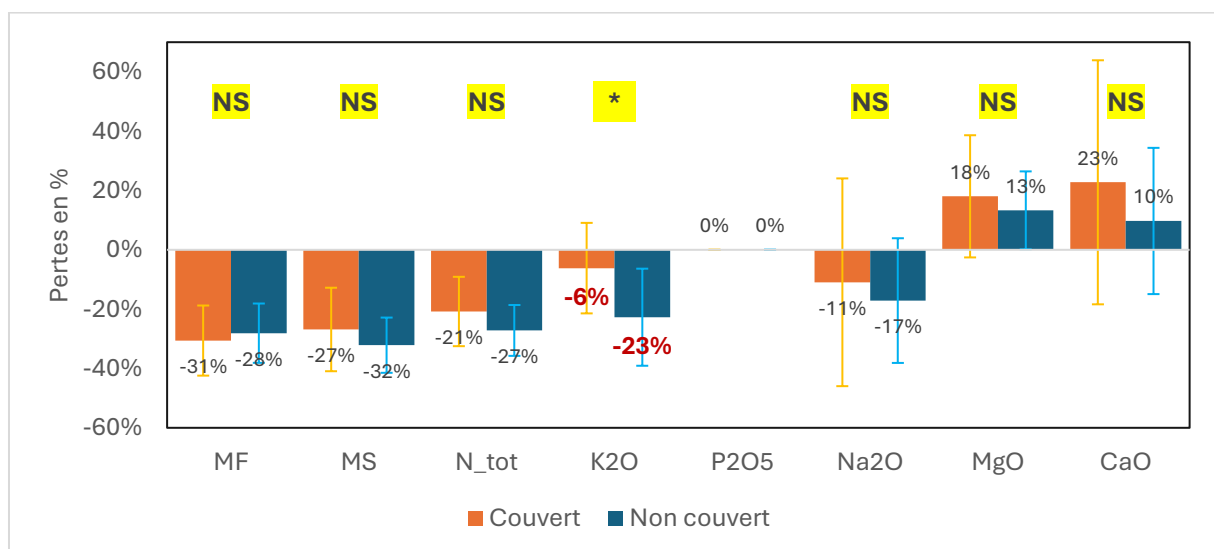
C/N : Kohlenstoff/Stickstoff

Diese Tabelle zeigt die durchschnittlichen Ergebnisse der Mistanalysen zu Beginn der Lagerung (Tag 0) und nach einer durchschnittlichen Feldlagerung von 144 Tagen bei 361 mm Niederschlag. Nach diesem Zeitraum ist bei den meisten analysierten Nährstoffen (N, K<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, CaO usw.) ein Anstieg der Gehalte zu beobachten, wodurch sich die Abweichung von den PGDA-Normen weiter vergrößert.

Diese scheinbare Nährstoff-Konzentration lässt sich durch einen Gesamtverlust an Masse des Haufens erklären, der hauptsächlich auf den Abbau organischer Materie (OM) und die Verdunstung von Wasser zurückzuführen ist, wodurch die verbleibenden Nährstoffe im Substrat konzentriert werden.

Um den Massenverlust zu berücksichtigen, wurden die Nettoverluste an Nährstoffen berechnet und sind in der folgenden Grafik dargestellt.

Abbildung 2 : Nettoverluste während der Feldlagerung, errechnet auf Basis der Massenbilanz (P2O5 dient als Referenz-Element) jenachdem ob Misthaufen abgedeckt sind oder nicht (n=14) . negative Werte zeugen von Verlusten. NS : *nicht signifikant*



Die Resultate zeigen eine starke Variabilität der Verluste, wobei einige Werte positiv sind, was auf einen Zuwachs an Nährstoffen im Mist während der Lagerung hindeuten würde. Dieses Phänomen ist jedoch in Misthaufen physikalisch unmöglich: Kalium, Natrium, Magnesium oder Kalzium können während der Lagerung nicht „entstehen“.

Diese Abweichungen und scheinbarer Nährstoff-Zuwachs lassen sich hauptsächlich durch die Schwierigkeit erklären, sowohl beim Abladen des Haufens, als auch am Ende der Lagerung eine vollkommen repräsentative Probe zu erhalten. Tatsächlich umfasst jeder Haufen mehrere Tonnen Mist, der manchmal aus verschiedenen Ställen oder von verschiedenen Tiekategorien stammt, was die Heterogenität des Haufens verstärkt und die Repräsentativität der entnommenen Proben erschwert.

Trotz dieser Variabilität ermöglichte die ausreichende Anzahl an Wiederholungen (n=14) eine statistische Analyse (Student-t-Test), um die Verluste zwischen den beiden Modalitäten zu vergleichen: unbedeckt und bedeckt.

Nur der Verlust an Kalium ( $K_2O$ ) weist einen statistisch signifikanten Unterschied (\*) zwischen den beiden Methoden auf ( $p = 0,0103$ ). Dieses Ergebnis legt nahe, dass die Abdeckung einen signifikanten Einfluss auf die Begrenzung der globalen Kaliumverluste hat. Tatsächlich ermöglicht sie eine Verringerung der Verluste von 23 % auf 6 %, was einer Reduzierung um den Faktor 3,8 entspricht.

### 3.2 PHASE 2 : Mistanalysen und GEMESSENE Verluste

Die hier aufgeführten Resultate stammen aus der zweiten Phase von Versuchen, die auf zwei Haufen Rindermist mithilfe eingegrabener Säcke durchgeführt wurde.

Tabelle 3 : Analyseergebnisse des Rindermist vor und nach der Lagerung (Konzentration an Nährstoffen im Haufen, in % oder kg/t Frischmasse) erster Haufen, 2024

Parameter	unbedeckt		bedeckt	
	Tag 0 n=3	Tag 167 (495 l/m <sup>2</sup> ) n=3	Tag 0 n=3	Tag 167 (495 l/m <sup>2</sup> ) n=3
C/N	16,9 ± 0,4	11,0 ± 0,7	17,7 ± 0,2	10,4 ± 0,9
TM (%)	24,2 ± 0,1	17,6 ± 1,5	26,7 ± 0,3	23,8 ± 7,0
OM (%)	17,7 ± 0,6	12,5 ± 1,9	21,3 ± 0,1	16,2 ± 3,0
RA (%)	4,0 ± 0,2	4,7 ± 0,5	4,5 ± 0,1	9,6 ± 4,9
unl. Asche (%)	1,2 ± 0,1	1,7 ± 0,4	1,5 ± 0,1	3,1 ± 1,2
Gesamt N (kg/t FM)	5,8 ± 0,3	6,3 ± 0,6	6,7 ± 0,0	8,8 ± 2,3
N-NH <sub>4</sub> (kg/t FM)	1,2 ± 0,1	0,8 ± 0,3	1,4 ± 0,1	1,8 ± 1,3
K <sub>2</sub> O (kg/t FM)	11,0 ± 0,6	11,3 ± 1,2	12,4 ± 0,3	22,3 ± 11,3
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/t FM)	2,5 ± 0,1	3,1 ± 0,5	2,7 ± 0,1	5,3 ± 1,9
Na <sub>2</sub> O (kg/t FM)	0,7 ± 0,0	0,7 ± 0,1	0,9 ± 0,0	1,4 ± 0,7
MgO (kg/t FM)	1,3 ± 0,1	1,7 ± 0,5	1,4 ± 0,1	2,7 ± 1,0
CaO (kg/t FM)	3,7 ± 0,2	5,0 ± 0,9	4,1 ± 0,2	7,9 ± 2,6

Tabelle 4 : Analyseergebnisse des Rindermist vor und nach der Lagerung (Konzentration an Nährstoffen im Haufen, in % oder kg/t Frischmasse) – zweiter Haufen, 2025

Parameter	unbedeckt		bedeckt	
	Tag 0 n=3	Tag 99 (238 l/m <sup>2</sup> ) n=3	Jour 0 n=3	Tag 99 n=3
C/N	14,5 ± 0,1	10,9 ± 1,0	14,6 ± 1,5	11,5 ± 0,5
TM (%)	25,7 ± 0,4	27,0 ± 7,4	24,8 ± 0,9	37,9 ± 12,4
OM (%)	18,9 ± 0,4	18,7 ± 3,7	18,6 ± 1,4	24,9 ± 8,1
RA (%)	6,0 ± 0,4	8,8 ± 3,9	5,6 ± 0,1	13,8 ± 4,5
unl. Asche (%)	2,6 ± 0,1	4,0 ± 1,9	2,5 ± 0,0	6,3 ± 2,0
Gesamt N (kg/t FM)	7,3 ± 0,1	9,9 ± 3,0	7,1 ± 0,3	12,1 ± 3,9
N-NH <sub>4</sub> (kg/t FM)	0,9 ± 0,0	1,9 ± 1,0	1,0 ± 0,0	0,3 ± 0,0
K <sub>2</sub> O (kg/t FM)	12,8 ± 0,4	17,8 ± 7,1	11,6 ± 0,3	28,2 ± 10,0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/t FM)	3,9 ± 0,2	5,9 ± 2,6	3,6 ± 0,1	9,2 ± 3,0
Na <sub>2</sub> O (kg/t FM)	0,6 ± 0,0	0,9 ± 0,4	0,5 ± 0,0	1,6 ± 0,6
MgO (kg/t FM)	2,3 ± 0,1	3,4 ± 1,5	2,1 ± 0,1	5,3 ± 1,7
CaO (kg/t FM)	4,1 ± 0,1	6,2 ± 2,6	4,1 ± 0,2	9,5 ± 3,0

#### Anmerkung zur Interpretation der Standardabweichungen

Die Standardabweichungen der Werte von „Tag 0“ spiegeln hauptsächlich die analytische Variabilität wider, da die Messungen dreimal (n=3) an derselben homogenen Probe durchgeführt wurden. Die Standardabweichungen von „Tag 167“ spiegeln hingegen hauptsächlich eine tatsächliche Variabilität innerhalb des Misthaufens wider, da die drei Proben in drei verschiedenen Höhen aus den eingegrabenen Säcken (oben, Mitte, unten) entnommen wurden.

Entsprechend der Beobachtungen aus der ersten Versuchsphase, wurde ein Anstieg der Nährstoffgehalte im Mist nach der Feldlagerung festgestellt, wobei dieser bei dem abgedeckten Misthaufen besonders ausgeprägt war. Außerdem wurde bei den Proben aus dem abgedeckten Misthaufen eine stärkere Variabilität beobachtet, was sich in höheren Standardabweichungen für mehrere Parameter niederschlug.

Gemessene Gesamtverluste nach der Feldlagerung :

Diese Grafiken zeigen die gemessenen Verluste in den beiden Haufen nach 167 und 99 Tagen Feldlagerung, ausgedrückt in Prozent der Gesamtmenge jedes Elementes zu Beginn. Negative Werte weisen auf einen Verlust hin.

Abbildung 3: Gesamtverluste nach der Feldlagerung (n=1)  
erster Haufen, 167 Tage gelagert und 495 L/m<sup>2</sup> abbekommen

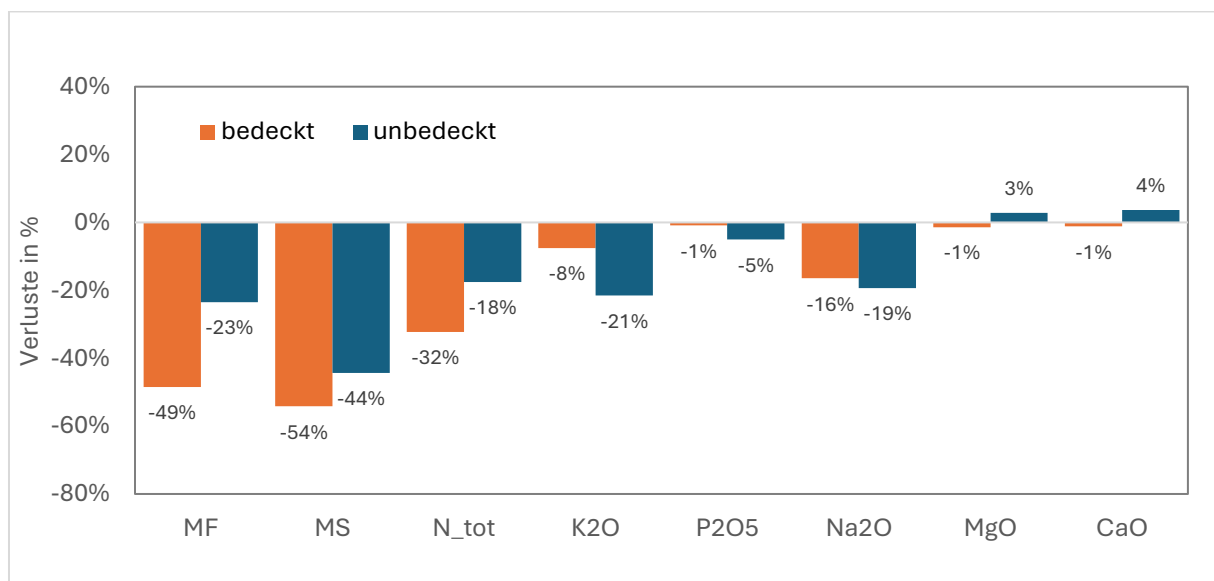
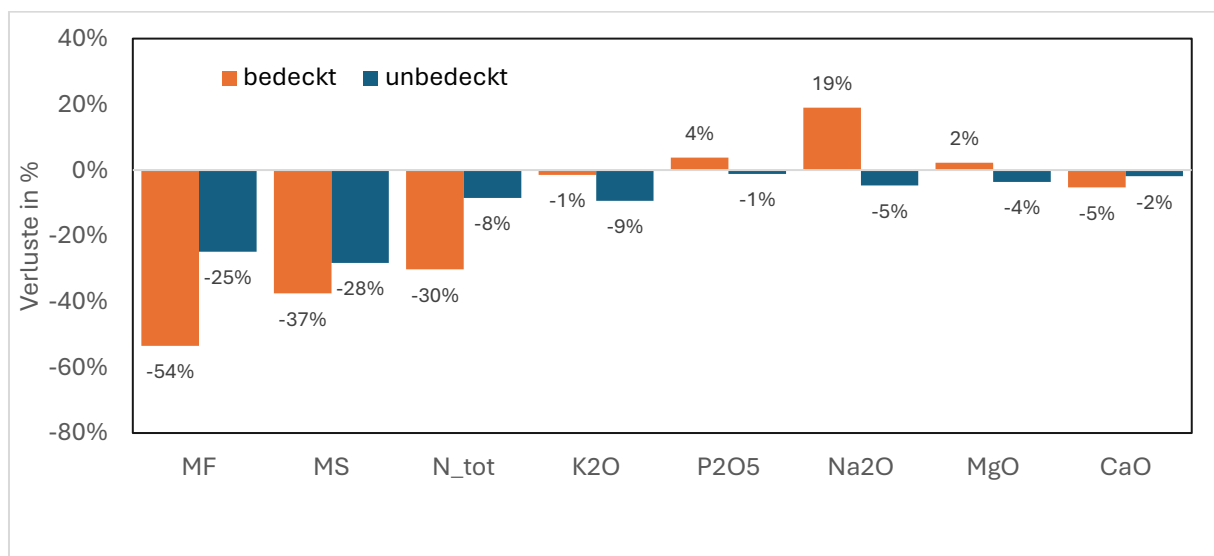


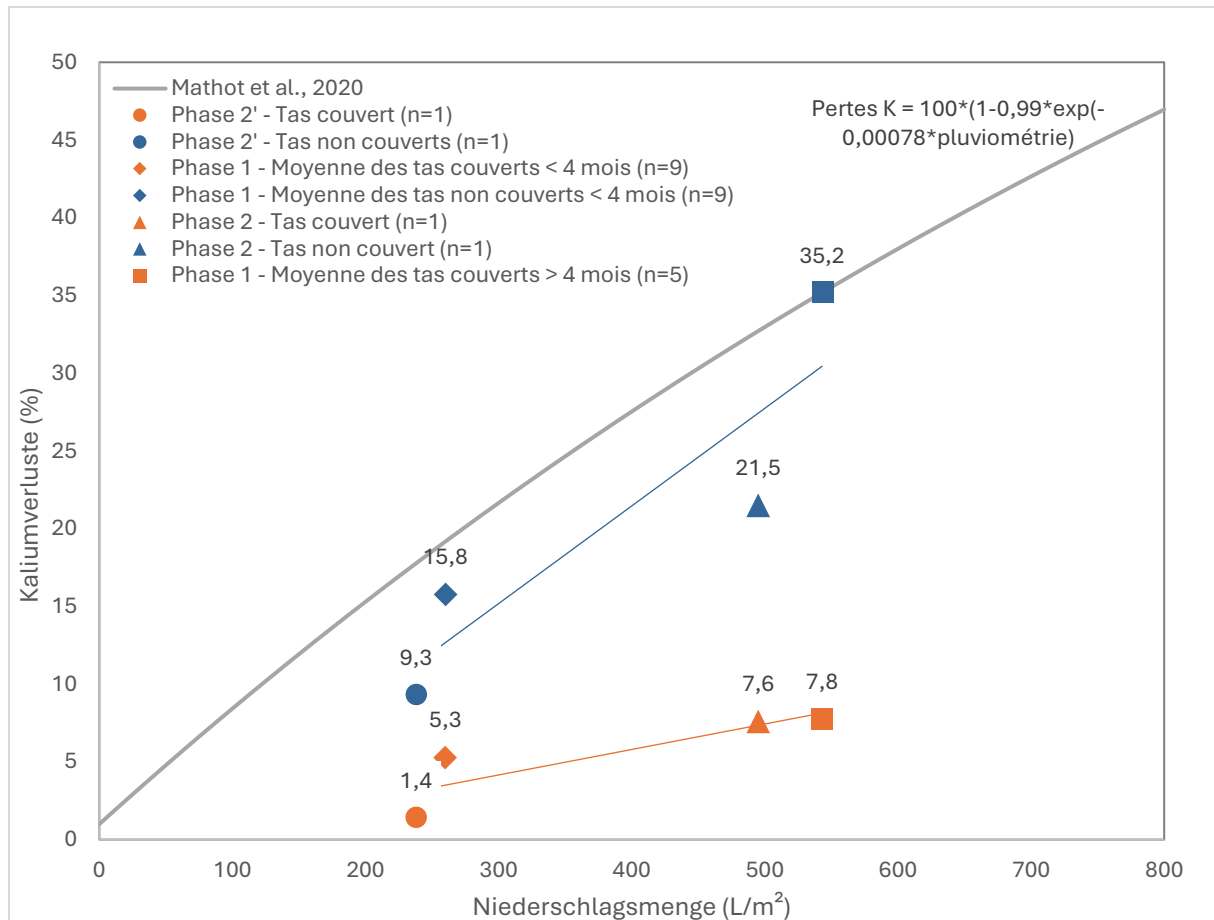
Abbildung 4 : Gesamtverluste nach der Feldlagerung (n=1)  
Zweiter Haufen, 99 Tage gelagert und 238 L/m<sup>2</sup> abbekommen



Die Grafiken zeigen, dass die Abdeckung der Haufen zu größerer Abnahme an Frischmasse, Trockenmasse und Gesamtstickstoff führt, während sie gleichzeitig die Kaliumverluste begrenzt. Sie scheint nur geringe Auswirkungen auf die Magnesium- und Kalziumverluste zu haben. Die Auswirkungen auf Natrium sind hingegen von Versuch zu Versuch widersprüchlich.

### 3.3 Entwicklung der Kalium-Verluste je nach Niederschlagsmenge

Abbildung 5 : Entwicklung der Gesamtverluste an Kalium in Abhängigkeit der Niederschläge und je nach Abdeckung des Haufens oder nicht und Vergleich mit der Literatur.



Wie durch Mathot (2020) gezeigt (graue Kurve), nehmen die Kaliumverluste in einem auf dem Feld gelagerten Misthaufen mit der Niederschlagsmenge und mit der Dauer der Feldlagerung zu. Die Daten aus den unbedeckten Haufen dieses Versuchs (in Blau) bestätigen diesen Trend, obwohl die gemessenen Verluste etwas geringer sind, als die von Mathot verzeichneten.

Die Wirkung der Abdeckung ist deutlich sichtbar: Den blau und orange dargestellten Trendkurven zufolge lässt sich der Kaliumverlust um den Faktor 3 bis 4 reduzieren, indem die Auswaschung durch Niederschläge begrenzt wird.

### 3.4 Kosten der Abdeckung

Die Kosten für das Abdecken der Haufen werden anhand eines konkreten Beispiels geschätzt : ein Fleischvieh-Betrieb auf Stroheinstreu mit 90 GVE und einer jährlichen Produktion von 550 t Mist pro Jahr.

- Notwendige Fläche Abdeckplane : 750 m<sup>2</sup> (5 Planen à 6 x 25 m)
- Gesamtkosten Abdeckplane : 1.950 € (Juli 2025)
- Anwendedauer: 10 Anwendungen (2x/Jahr während 5 Jahren)
- Jährliche Kosten : 390 €
- Kosten pro t frischer Mist : 0,71 €/t

Zu diesen Kosten von 0,71 € pro Tonne Frischmist kommen noch die Arbeitskosten hinzu, die auf 0,50 € pro Tonne geschätzt werden (2 Stunden à 25 € pro Stunde für einen Haufen von 100 Tonnen), um die Plane anzubringen und wieder zu entfernen. Die Gesamtkosten für die Abdeckung mit Planen belaufen sich somit auf etwa **1,21 € pro Tonne Frischmist**.

*Gut zu wissen: Nach einigen Versuchen hat sich herausgestellt, dass Sandbeutel zum Beschweren der Planen unnötig sind. Da die Planen aus Polypropylen und somit luftdurchlässig und im nassen Zustand relativ schwer sind, werden sie vom Wind nicht erfasst.*

### 3.5 Visueller Aspekt des Mist

Unter der Plane verändert der Mist gleichmäßiger: An der Oberfläche war keine trockene Kruste zu sehen, und die anaeroben Bereiche schienen reduziert zu sein. Insgesamt wies der abgedeckte Haufen eine krümeligere Struktur auf und schien trockener zu sein, was durch die Analysen bestätigt wurde. Außerdem war die im Kern des abgedeckten Haufens gemessene Temperatur nach 167 Tagen Lagerung um 6 °C höher als die des nicht abgedeckten Haufens (21 °C gegenüber 15 °C).

Abbildung 6 : visueller Aspekt des Mist in den Säcken, die in einen abgedeckten und einen anabgedeckten Haufen eingegraben wurden, nach 99 Tagen Lagerung. Die ursprüngliche Menge frischer Mist war in jedem eingegrabenen Sacke im Großen und Ganzen identisch (+/- 12 kg).



## 4 Diskussion und Interpretation

### 4.1 Agronomischer Nutzen

Die drei durchgeführten Versuche zeigen, dass von den analysierten Nährstoffen (N, P, K, Mg, Na, Ca) nur Kalium (K) signifikant erhalten bleibt, wenn die Misthaufen während der Feldlagerung abgedeckt werden. Selbst wenn Kaliumverluste nicht vollständig vermieden werden können, werden sie durch die Abdeckung um den Faktor 3 bis 4 reduziert.

In der zweiten Phase des Versuchs (mit der Methode der eingegrabenen Säcke) verzeichneten die abgedeckten Haufen größere Masse- und Gesamtstickstoffverluste. Diese Beobachtung lässt sich dadurch erklären, dass die atmungsaktive Plane ein für die Kompostierung günstiges Umfeld schafft: bessere Belüftung, Temperaturanstieg und keine Verdichtung durch Regen. Im Gegensatz dazu wurden die nicht abgedeckten Haufen abgekühlt, durchnässt und verdichtet, was den Prozess stark verlangsamte oder in den anaeroben Tiefen sogar unterbrach.

Diese umfassendere Kompostierung in abgedeckten Haufen hat mehrere Vorteile: Der Mist wird reifer (geruchsärmer), stabiler, homogener und bröckeliger. Diese Beschaffenheit erleichtert eine gleichmäßige Ausbringung und begrenzt die Bildung von kompakten Klumpen, die die Grasnarbe beschädigen oder bei der nächsten Ernte wieder aufgenommen werden könnten.

Der größere Masse- und Stickstoffverlust könnte als nachteiliger Effekt der Abdeckung angesehen werden. Er ist jedoch Ausdruck einer erfolgreicherer Mineralisierung. Nicht abgedeckter Mist enthält mehr Gesamtstickstoff, jedoch in einer instabilen Form, die beim nächsten Arbeitsschritt oder Belüftung des Haufens verflüchtigt werden kann.

Was den Phosphor angeht, so deuten die Daten auf einen leicht positiven Effekt der Abdeckung hin. Allerdings sind die Verluste ohne Abdeckung ohnehin sehr gering (< 5 %), und die beobachteten Unterschiede könnten auf die analytische Variabilität des Labors zurückzuführen sein.

Aus agronomischer Sicht liegt der Hauptnutzen der Abdeckung daher in der Erhaltung von Kalium, einem Hauptnährstoff für die Produktivität von Grünland, deren Bedarf hoch ist. Beispielsweise werden pro Tonne Trockenmasse Silage (> 3 Schnitte/Jahr) durchschnittlich 30 Einheiten  $K_2O$  exportiert, gegenüber 25 kg Stickstoff (Meniger, 2021). Eine ausreichende Kaliumdüngung stimuliert das Wachstum von Leguminosen, indem sie die Aktivität stickstofffixierender Bakterien unterstützt, fördert eine dichte Wurzelbildung, verbessert die Trittfestigkeit, stärkt die Trockenresistenz durch eine bessere Wasserregulation und verringert die Anfälligkeit für Pilzkrankheiten im Grünland.

**Das Abdecken von Misthaufen ist somit eine Maßnahme, die zur Produktivität und Langlebigkeit des Grünlands beiträgt!**

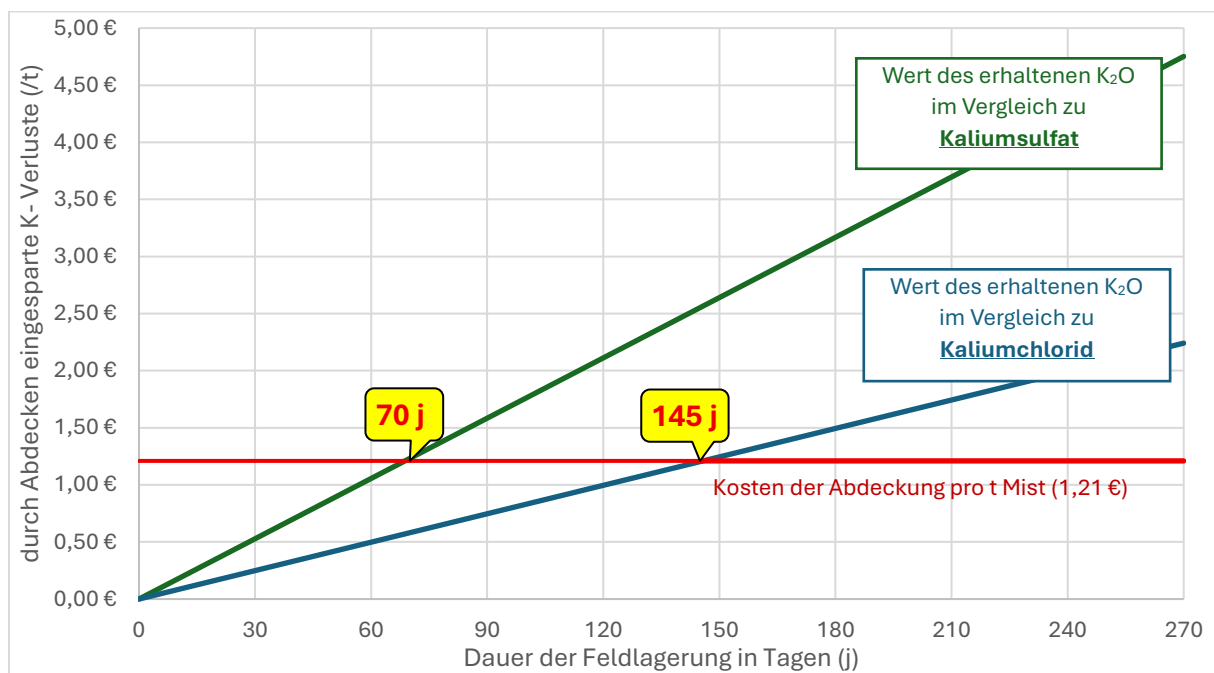
## 4.2 Ökonomischer Nutzen

Die Kosten für das Abdecken werden auf 1,21 € pro Tonne Frischmist geschätzt. In der folgenden Analyse wird nur der wirtschaftliche Gewinn durch die Erhaltung des Kaliums berücksichtigt. Dieser Ansatz unterschätzt sicherlich den Gesamtnutzen dieser Praxis: Es wurden weitere Vorteile der Abdeckung beobachtet, die jedoch aus wirtschaftlicher Sicht nur schwer quantifizierbar sind

Die Rentabilität der Abdeckung hängt von der Dauer der Feldlagerung und dem Wert des erhaltenen Kaliums ( $K_2O$ ) ab. Dieser Wert variiert je nach Betrieb: In bio wird in der Regel Kaliumsulfat verwendet (1,48 €/ Einheit  $K_2O$  - Juli 2025), obwohl unter bestimmten Bedingungen auch Kaliumchlorid zulässig ist (sofern es natürlichen Ursprungs und zertifiziert ist). In der konventionellen Landwirtschaft ist Kaliumchlorid die gängigste Option (0,70 €/ Einheit  $K_2O$  - Juli 2025).

Die nachfolgende Graphik verdeutlicht, ab wann die Abdeckung der Misthaufen im Zuge der Feldlagerung rentabel ist, je nach Preis der  $K_2O$  Einheit.

Abbildung 7 : durch Abdeckung eingesparte Kaliumverluste, ausgedrückt in Euro pro Tonne Frischmist



In der Annahme, dass während der Lagerung verlorenes Kalium durch Mineraldünger ausgeglichen wird, ist die Abdeckung ab einer Lagerdauer von 70 Tagen bei Verwendung von Kaliumsulfat und ab 145 Tagen bei Kaliumchlorid wirtschaftlich rentabel. Diese Rentabilitätsschwellen wurden ohne Berücksichtigung der Ausbringungskosten und vor dem Hintergrund relativ niedriger Preise für Mineraldünger (Juli 2025, KCl: 420 €,  $K_2SO_4$ : 740 €) berechnet. Je höher also die Preise der Mineraldünger steigen, desto größer wird der wirtschaftliche Nutzen der Abdeckung.

### 4.3 Ökologischer Nutzen

Was den Nährstoffverlust betrifft, so begrenzt die Abdeckung von Misthaufen vor allem den Verlust von Kalium, einem Element, das im Gegensatz zu Stickstoff und Phosphor nicht direkt zur Belastung des Grundwassers oder Oberflächenabflusses beiträgt. Die Erhaltung von Kalium ist jedoch indirekt von ökologischem Interesse, da dadurch der Einsatz von Mineraldüngern reduziert wird, deren Herstellung und Transport Treibhausgasemissionen verursachen. Hinzu kommen die Auswirkungen des Kaliumabbaus in Bergwerken: Versalzung des Wassers, Veränderung der Böden und Störung der Ökosysteme.

Die Verwendung von Polypropylen-Planen wirft auch ökologische Fragen auf: Sie werden aus fossilen Ressourcen hergestellt und verursachen am Ende ihrer Lebensdauer Abfall. Diese Auswirkungen hängen von ihrer Nutzungsdauer und der Art ihrer Entsorgung nach Gebrauch ab.

Die nachstehende Tabelle gibt einen Überblick über die Gesamtklimabilanz der Abdeckung von auf dem Feld gelagerten Misthaufen mit Polypropylen-Planen auf der Grundlage der Daten aus dem Abschnitt 3.4 dargestellten Beispiel (Fleischviehbetrieb mit Strohhaltung, 90 GVE und einer jährlichen Mistproduktion von ca. 550 Tonnen).

<b>Auswirkungen der Abdeckplane</b> CO <sub>2</sub> Emissionen	<b>Vorteile der Mist Abdeckung</b> Eingesparte CO <sub>2</sub> Emissionen durch Nicht-Abbau des Kaliums
150 kg Polypropylen Plane (PP) 750 m <sup>2</sup> x 0,2 kg / m <sup>2</sup>	~ 3900 Einheiten K <sub>2</sub> O erhalten [(550t x 11 kg K <sub>2</sub> O/t) * 0,21 - (550t x 11kg K <sub>2</sub> O/t) x 0,08] x 5 Jahre
Erzeugung von PP : <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 kg eq CO<sub>2</sub>/kg (Al-Salem et al., 2021)</li> </ul> Behandlung zum Ende der Nutzungsdauer : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Verbrennen: 1 kg eq CO<sub>2</sub>/kg</li> <li>• Recyclen : -0,5 kg eq CO<sub>2</sub>/kg</li> </ul>	Kalium-Abbau : <ul style="list-style-type: none"> <li>• 0,70 kg CO<sub>2</sub> Äquivalent/ Einheit K<sub>2</sub>O in Form von Kalium-Chlorid (US EPA, 2021)</li> <li>• 1,42 kg CO<sub>2</sub> Äquivalent/ Einheit K<sub>2</sub>O in Form von Kalium-Sulfat (Ecoinvent Association, 2021)</li> </ul>
Szenario Verbrennen: <b>450</b> kg eq CO <sub>2</sub> Szenario Recyclen: <b>225</b> kg eq CO <sub>2</sub>	Szenario K-Chlorid : <b>2730</b> kg CO <sub>2</sub> Äquivalente Szenario K-Sulfat : <b>5770</b> kg CO <sub>2</sub> Äquivalente

In diesem Beispiel ist die Klimabilanz der Abdeckung unter Berücksichtigung einer Lebensdauer der Planen von 5 Jahren sehr positiv. Die durch den ausbleibenden Kaliumabbau vermiedenen Treibhausgasemissionen gleichen die Emissionen, die bei der Herstellung und Entsorgung der Planen am Ende ihrer Lebensdauer entstehen, bei weitem aus, wobei das Verhältnis von Nutzen zu Auswirkungen je nach den zugrunde gelegten Annahmen zwischen 6 und 25 liegt.

Jedoch könnte sich das Abdecken von Misthaufen negativ auf die Biodiversität auswirken, insbesondere auf bestimmte Vogelarten. Studien (Šálek et al., 2018; Martin et al. 2010) haben gezeigt, dass diese Misthaufen im Winter eine wertvolle Ressource darstellen, da sie Nahrung und Schutz bieten und so zum Überleben der Vögel in dieser kritischen Zeit beitragen können. Um diese Auswirkungen zu begrenzen, wäre eine mögliche Lösung, einen Teil des Haufens im Winter unbedeckt zu lassen, um den Zugang zu diesen Futterquelle aufrechtzuerhalten.

## 4.4 Mehrwert zur landwirtschaftlichen und ernährungspolitischen Souveränität

Wichtig ist hervorzuheben, dass Kalium eine begrenzte Ressource ist, deren Vorkommen sich auf bestimmte Regionen der Welt beschränkt. Diese Situation führt zu einer geopolitischen Abhängigkeit für Importländer wie Europa. So ist beispielsweise Israel über das Tote Meer einer der weltweit wichtigsten Lieferanten von Kalium neben Kanada, Russland und Weißrussland. Geopolitische Spannungen und Handelsbeschränkungen können die Verfügbarkeit und den Preis dieser strategischen Ressource in Europa beeinflussen. Vor diesem Hintergrund ist die Erhaltung des Kaliums in Misthaufen nicht nur eine agronomische, wirtschaftliche und ökologische Notwendigkeit, sondern auch ein Beitrag zur landwirtschaftlichen und ernährungspolitischen Souveränität.

## 5 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

### 5.1 Zusammenfassung der wichtigsten Aspekte

Das Abdecken von Misthaufen auf dem Feld mittels atmungsaktiver Planen aus Polypropylen bringt viele agronomische, ökonomische und ökologische Vorteile :

- ✓ Signifikante Reduzierung der Verluste von **Kalium** : die Verluste verringern sich um das drei- bis vierfache, was dazu beiträgt, diesen wichtigen Nährstoff für die Produktivität des Grünlands zu erhalten.
- ✓ Verbesserte Mistqualität : durch die Abdeckung **kompostiert** der Mist besser und gleichmäßiger, was ihn homogener macht und einfacher zu streuen.
- ✓ Ökonomischer Mehrwert je nach Dauer der Feldlagerung : das Abdecken ist **rentabel** ab einer Feldlagerung von 70 Tagen (bei Ausgleich der Kalium-Verluste durch Kaliumsulfat) oder 145 Tage (bei Kalium-Chlorid).
- ✓ Günstige **Klimabilanz** : eingesparte Emissionen durch vermiedenen Abbau von Kalium kompensieren weitgehend die anfallenden Emissionen durch Erzeugung und Entsorgung der Abdeck-Planen.

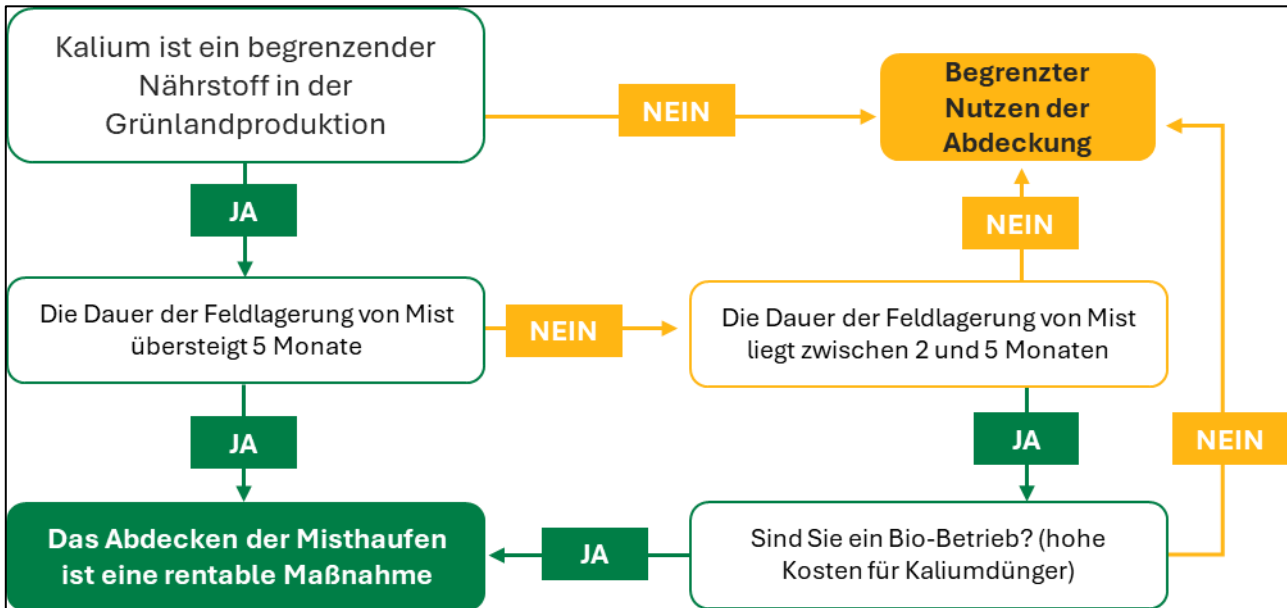
### 5.2 Empfehlungen für Landwirte

Die erste Maßnahme, um den Düngewert von Mist zu erhalten, besteht darin, die Lagerdauer auf dem Feld zu verkürzen. Um dies zu erreichen, wird empfohlen :

- ✓ Die Lagerung auf überdachten, bzw. abgedeckten Mistflächen bevorzugen
- ✓ Sobald die Bedingungen es erlauben, sollte der Mist ausgebracht werden (tragfähiger Boden und günstiges Wetter)

Wenn eine Feldlagerung erforderlich ist, hängt die Entscheidung für das Abdecken von mehreren Faktoren ab, die für jeden Betrieb individuell sind. Dieser Entscheidungsschlüssel kann dabei helfen, die wirtschaftliche Relevanz dieser Praxis in Abhängigkeit von der Lagerdauer, der Art des verwendeten Düngers und dem Kontext des Betriebs (biologisch oder konventionell) zu bewerten.

Abbildung 8 : Entscheidungsschlüssel, der bei der Bestimmung hilft, ob das Abdecken von Misthaufen interessant ist für Landwirte.



\* Laut dem 'Centre de Michamps' weisen 40 % des analysierten Raufutters einen Kaliummangel auf (Lambert, 2025), was verdeutlicht, dass dieses Problem bei vielen Landwirten verbreitet ist. Grünland hat einen hohen Bedarf an diesem Element: Pro geerntete Tonne Trockenmasse werden etwa 30 Einheiten  $K_2O$  exportiert. Bei Wechselgrünland kann anhand einer Bodenanalyse der Bedarf einer Zufuhr ermittelt werden. Bei Dauergrünland ist eine Grasanalyse im Frühjahr zur Ermittlung eines Nährstoffindex in der Regel aussagekräftiger. Die Beobachtung der Grasnarbe kann ebenfalls Anzeichen für einen Mangel aufzeigen: Gelbfärbung oder Verfärbung der Blätter, geringere Dichte der Vegetationsdecke, schnelles Verwelken in Trockenperioden (erhöhte Empfindlichkeit gegenüber Wasserstress) sowie das Verschwinden oder die Abnahme von Leguminosen.

Der Versuch ruft ebenfalls fundamentale Aspekte hervor:

- ! Der Düngewert von Mist schwankt stark von Betrieb zu Betrieb. Bei Rindermist kann der Kalium- oder Phosphorgehalt um das Doppelte variieren, der Stickstoffgehalt um bis zu +50 %. Eine regelmäßige Analyse des Mists ist daher unerlässlich, um die Düngung an den Bedarf der Kulturen anzupassen und zu optimieren.
- ! Für Landwirte, die Mist kaufen, verkaufen oder tauschen, ist es wichtig zu wissen, dass der Reifegrad des Mists einen großen Einfluss auf seinen Wert hat. Kompostierter Mist ist konzentrierter an Nährstoffen. Aber Vorsicht: „Reif/kompostiert“ bedeutet nicht „alt“. Mist kann unter günstigen Lagerbedingungen innerhalb von 4 bis 6 Wochen gut kompostiert sein. Umgekehrt wird ein Haufen, der lange Zeit unbedeckt auf dem Feld liegen bleibt, ausgewaschen und verarmt.

### 5.3 Perspektiven für zukünftige Versuche

Die Abdeckung der auf dem Feld gelagerten Misthaufen beeinflusste die Eigenschaften des Mist, indem er homogener, bröckeliger und leichter zu streuen wurde. Diese Beobachtungen deuten auf eine fortgeschrittene und gleichmäßigere Kompostierung des Mists unter der Plane hin. Diese Hypothese wurde durch eine punktuelle Temperaturmessung bestätigt, die nach 167 Tagen Lagerung einen Unterschied von +6 °C im abgedeckten Haufen ergab. Die Abdeckung könnte somit eine Hygienisierung des Mists begünstigen, insbesondere durch die Verringerung der Keimfähigkeit von Unkrautsamen oder die Reduzierung bestimmter Krankheitserreger. Um diesen

Trend zu bestätigen, wäre es sinnvoll, die thermische Entwicklung des Haufens mittels Thermometern aufzuzeichnen.

Ein weiterer zu untersuchender Ansatz, besteht in dem Ersatz der mechanischen Kompostierung mittels Kompostumsetzers durch das Abdecken des Haufens mit Planen. Durch die Förderung einer gleichmäßigeren Kompostierung und einen Anstieg der Temperatur könnte das Abdecken mit Planen dazu beitragen, dass der Mist ohne mechanisches Umsetzen ausreichend stabilisiert wird.

Eine zusätzliche Piste, der nachgegangen werden kann, betrifft die Auswirkungen der Abdeckung auf die Treibhausgasemissionen (THG), insbesondere Methan und Distickstoffmonoxid (Lachgas). Die Abdeckung verändert nämlich die Bedingungen im Inneren des Haufens und beeinflusst so die mikrobiellen Prozesse, die für die Produktion dieser Gase verantwortlich sind. Es wäre sinnvoll zu überprüfen, ob die Abdeckung die THG-Emissionen verringert oder erhöht. Zukünftige Versuche könnten direkte Messungen der Gasemissionen umfassen, um diesen Effekt besser zu quantifizieren und die Gesamtklimabilanz der Abdeckung zu bewerten.

Die Methode der eingegrabenen Säcke hat sich bewährt und sollte für zukünftige Versuche verwendet werden, insbesondere, wenn die Anzahl zu beprobender Haufen begrenzt ist.

## 6 Danksagungen

Wir bedanken uns bei den Landwirten des Terraé-Netzwerkes für deren Teilnahme und Mitarbeit im Rahmen dieser Versuche. Das 'Centre de Michamps' hat einen Teil der Analysekosten übernommen, wofür wir uns bedanken. Wir bedanken uns ebenfalls bei Richard Lambert (Centre de Michamps) und Michaël Mathot (Wallonisches Agrarforschungszentrum (Centre de Recherche Agronomique Wallon)) für deren Beitrag zum Erstellen des Versuchsprotokolls und Analyse der Resultate.



## 7 Bibliographie

Vlaamse Landmaatschappij. (n.d.). MAP7 – Mestactieplan.

<https://www.vlm.be/nl/themas/waterkwaliteit/MAP7/Paginas/default.aspx>

Lambert, R. (2025). *Des carences en soufre et en potassium toujours fréquentes – Fertilisation des prairies*. In Wallonie Élevages, Dossier fourrages WE 04, avril 2025, pp. 28–30. ASBL Centre de Michamps. Disponible sur : <https://walakis.be>

Landwirtschaftskammer Rheinland-Pfalz. (n.d.). Der Neubau einer Festmistplatte ist jetzt wichtig. <https://www.lwk-rlp.de/beratung/tierzucht/news-details-1/der-neubau-einer-festmistplatte-ist-jetzt-wichtig>

Land Baden-Württemberg. (2024, juillet). Angepasste Vorgabe für Rindergülle ab 1. Februar 2025. <https://www.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilung/pid/angepasste-vorgabe-fuer-rinderguelle-ab-1-februar-2025-1>

Légifrance. (2011). Arrêté du 23 octobre 2011 relatif au programme d'actions national à mettre en œuvre dans les zones vulnérables.

<https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000025001662/2024-07-23/>

Al-Salem, S. M., Karam, H., & Al-Hajj, A. M. (2021). Carbon footprint of plastic waste: A case study of polypropylene. *Polymers*, 13(21), 3793. <https://doi.org/10.3390/polym13213793>

U.S. Environmental Protection Agency. (2021). Tool for the Reduction and Assessment of Chemicals and Other Environmental Impacts (TRACI), Version 2.2. <https://www.epa.gov/chemical-research/tool-reduction-and-assessment-chemicals-and-other-environmental-impacts-traci>

Ecoinvent Association. (2021). Ecoinvent database v3.8: Life Cycle Inventory data for mineral fertilizers. <https://ecoinvent.org>

Šálek, M., & Žmihorski, M. (2018). Manure heaps attract farmland birds during winter. *Bird Study*, 65(3), 426–430. <https://doi.org/10.1080/00063657.2018.1513989>

Grüebler, M. U., Korner-Nievergelt, F., & Von Hirschheydt, J. (2010). The reproductive benefits of livestock farming in barn swallows *Hirundo rustica*: Quality of nest site or foraging habitat? *Journal of Applied Ecology*. <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com>