

Martin Elsässer, Markus Mokry, Hubertus Kleuter, Dominik Wüst, Jörg Messner,
Rainer Ruser

Autoren



Umweltfreundliche biologische Ansäuerung der Gülle zur Reduktion der Ammoniakabgasung und Steigerung der Nährstoffeffizienz

Gülleausbringung auf Grünland ist mit Verlusten verbunden (BRASCHKAT, 1996; WULF et al. 2002). Zur Vermeidung oder Verringerung dieser teils gasförmigen Verluste, werden sowohl technische Verfahren oder auch chemische oder mineralische Zusätze verwendet, deren Wirkung nicht immer den Erwartungen entspricht (u.a. ELSÄSSER & KUNZ, 1988). Die Ansäuerung von Rinder- oder Schweinegülle im Kontext der Vermeidung von Ammoniakverlusten bei der Lagerung und Ausbringung wird seit langem mit [unterschiedlichen Verfahren](#) praktiziert (FANGUEIRO et al., 2015).



Im vorliegenden Untersuchungsvorhaben sollten u.a. folgende Fragen berücksichtigt werden:

- Quantifizierung der Verminderung von Ammoniakemissionen
- Zusammensetzung und Eigenschaften der Gülle vor und nach einer Behandlung (pH-Wert, Nährstoffgehalt, Bindungsformen der Nährstoffe etc.)
- Entstehung klimarelevanter Gase (Methan, Lachgas)
- Eignung des Verfahrens als gleichwertiges Verfahren zu Verminderung von Ammoniakverlusten wie bodennahe Ausbringungstechniken im Sinne der Düngeverordnung
- Pflanzenverträglichkeit und Nährstoffwirksamkeit im Labor- und Vegetationsversuch

Die Untersuchung wurde im Winter 2016/17 in Zusammenarbeit des Landwirtschaftlichen Zentrums für Viehhaltung, Grünlandwirtschaft, Milchwirtschaft, Wild und Fischerei (LAZBW) Aulendorf, dem Landwirtschaftlichen Technologiezentrum Augustenberg (LTZ) und der Institute für Agrartechnik sowie für Kulturpflanzenwissenschaften an der Universität Hohenheim (UHOH) durchgeführt. Das Projekt wurde gefördert vom Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg.



Material und Methoden

Versuchsvarianten und Untersuchungsumfang

Folgende Varianten wurden vergleichend untersucht:

1. Kontrolle (H₂O)
2. Rindergülle (unbehandelt)
3. Rindergülle mit Zusatz von effektiven Mikroorganismen „EM Chiemgau“
4. Rindergülle mit Zusatz unterschiedlicher Präparate der Fa. „Agrostim“
5. Rindergülle mit Zusatz von homofermentativen Mikroorganismen (MOs) und Melasse
6. Rindergülle mit „Amefesol“
7. Rindergülle mit H₂SO₄ angesäuert

Die Untersuchungen erfolgten in einem abgestuften Verfahren.

Modul A:

Laboruntersuchungen ausgewählter Behandlungen an der Uni Hohenheim zur Feststellung der Ammoniak-, Lachgas- und Methanemissionen. Pflanzenverträglichkeit im Kressetest (I) [Versuchsaufbau A](#).

Modul B:

Laboruntersuchungen am LTZ Augustenberg: Bestimmung von Ammoniakemissionen an Grasbeständen; generelle Untersu-



chungen der Gülle auf Verhältnis Ammonium zu Ammoniak, pH-Wert, Inhaltsstoffe, Pflanzenverträglichkeit im Kresstest (II) [Versuchsaufbau B](#)

Modul C:

Gefäßversuch am LTZ im Rahmen einer Masterarbeit [Versuchsaufbau C](#)

Versuchsgülle

Die mit Zusatzmitteln versetzte bzw. angesäuerte [Gülle \(Tab. 1\)](#) wurde einheitlich zum gleichen Zeitpunkt hergestellt. Hierbei wurden die Empfehlungen bzw. Vorgaben der jeweiligen Hersteller berücksichtigt.

Zur Behandlung der Rindergülle wurden jeweils 900 l Gülle in einen sog. IBC Container gefüllt, d.h. es wurde für jede [Variante](#) 1 IBC Container vorgesehen. Somit ist im Versuchsdesign keine echte Wiederholung berücksichtigt worden. Dies war auf Grund fehlender frostfreier Unterstellplätze sowie um zusätzlich eine Behandlungstemperatur von 12-18 °C einregeln zu können, entschieden worden.

Ergebnisse

Modul A

Physikalische und chemische Analysen der Proben aus den Güllevarianten

In einem Rhythmus von 14 Tagen wurden ab dem 16.12.2016 regelmäßig Mischproben aus den IBC Containern entnommen und untersucht. In Tabelle 2 sind die wichtigsten Ergebnisse zum Ende der Behandlungsdauer dargestellt.

Tabelle 2
Physikalische und chemische Charakteristika der Gülle-Varianten zum Ende der Behandlungsdauer (20.02.2017)

	Gesamtgehalte an Hauptnährstoffen									basisch wirksame Substanz
	TS	pH	org. Sub.	N-ges.	NH ₄ -N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	S	
Probenbezeichnung	% FM		% TM	% FM		% TM				%
Rindergülle	8.7	6.9	68.2	0.34	0.18	1.67	4.05	1.50	0.49	9.0
EM Chiemgau	13.9	7.2	49.5	0.36	0.19	1.20	2.75	2.67	0.34	9.4
Agrostim	9.5	7.0	67.3	0.36	0.19	1.65	3.89	1.51	0.46	9.6
Homofermentative MSB	9.3	5.8	68.3	0.35	0.17	1.44	5.28	1.76	0.93	5.8
Ame fesol	10.3	7.0	66.6	0.37	0.18	1.69	3.66	1.51	0.52	9.3
Schwefelsäure	8.6	5.8	63.6	0.35	0.20	1.62	4.56	1.68	2.24	3.0

Hinsichtlich der Trockensubstanz der Gülle ist der höhere Wert der Variante „EM Chiemgau“ auf die Zugabe von Gesteinsmehl und Pflanzenkohle zurückzuführen. Aufgrund dessen hat sich die organische Substanz ebenfalls verringert. Bei der Variante „Homofermentative Milchsäurebakterien“ war eine leichte Erhöhung des Gesamtschwefelgehaltes zu erkennen, die auf die Zugabe der Zuckerrohrmelasse zurückzuführen ist. Bei der Variante „Homofermentative Milchsäurebakterien“ war eine leichte Erhöhung des Gesamtschwefelgehaltes zu erkennen, die auf die Zugabe der Zuckerrohrmelasse zurückzuführen ist. Den Varianten „Ame fesol“ und „Schwefelsäure“ wurde über die Güllezusatzstoffe „Saure Paste“ und „Schwefelsäure“ ebenfalls mehr Schwefel zugeführt. Dies ist ebenfalls der Grund dafür, dass sich der Gehalt an basisch wirksamer Substanz von dem der anderen Varianten abhebt. Besonders bei der Zugabe von konzentrierter Schwefelsäure wurden Carbonate ausgetrieben. Dies führte zu einer intensiven Schaumbildung bis hin zum Überlaufen des IBC Containers. Bei der Variante „Homofermentative Milchsäurebakterien“ wurde dies, bedingt durch die Bildung organischer Säuren als Folgeprodukte der Hydrolyse von Saccharose aus der Zuckerrohrmelasse, ebenfalls beobachtet. Der Gesamtgehalt an Ammonium war gegenüber der Originalsubstanz bei der Variante „Schwefelsäure“ geringfügig höher. Die weiteren Varianten unterschieden sich von der Kontrollgülle hinsichtlich der Gehalte der Stickstofffraktionen nicht gravierend (Tab. 2).

Bestimmung der Pflanzenverträglichkeit mittels Kresstest

Bei der Bewertung der Spross- und Wurzellänge mittels des sog. Kresstests geht es vor

allem darum die Ätzwirkung und die Sensibilität gegenüber den vorhandenen Nährstoffen, die durch die Güllezusatzstoffe bzw. die Folgeprozesse entstehen kann, herauszuarbeiten. Die Variation in der Sprosslänge kann als eine Folge des Wurzelwachstums interpretiert werden.

Grundsätzlich ist festzuhalten, dass eine 1:10 Verdünnung sogar bei der Kontrollgülle zu einem negativen Effekt beim Wurzelwachstum geführt hat. Durch die Verdünnungen von 1:30 und 1:100 wurde eine Verbesserung des Wurzelwachstums erzielt. Nach einer 1:30 Verdünnung zeigten die Varianten mit Agrostim (AG), Amefesol (AM) und EM Chiemgau (EM) keine negative Wirkung mehr gegenüber der Kontrolle. Dagegen wurde bei den Varianten mit Zusatz homofermentativer Milchsäurebakterien (HO) und Schwefelsäure (SC) weiterhin eine Beeinflussung des Wurzelwachstums festgestellt, selbst bei einer Verdünnung von 1:100 (siehe [Abb. 1](#)).

Hinsichtlich des Sprosswachstums konnte bei den 1:10 Verdünnungsreihen nur bei der Variante HO eine negative Wirkung aufgezeigt werden. Diese Wirkung konnte auch durch eine 1:30 Verdünnung beim Vergleich mit der Kontrolle nicht verbessert werden. Erst durch eine 1:100 Verdünnung trat eine Verbesserung der Pflanzenverträglichkeit ein. Eine 1:30 und 1:100 Verdünnung der übrigen Varianten hatte ein gleichwertiges Ergebnis wie bei der Kontrolle zur Folge ([Abb. 2](#)).

Spurengasmessungen

Versuch 1:

Einfluss der Güllebehandlung auf die Spurengasflüsse nach Ausbringung

Die kumulativen N_2O -Freisetzungen der Zufuhr unterschiedlich behandelte Rindergülle unterschieden sich statistisch nicht. Die Schwankung entspricht einer auf die Fläche bezogenen Emission von ca. 340 – 544 g N_2O -N pro ha über den Versuchszeitraum von 23 Tagen ([Abb. 3](#)).

Die CO_2 -Freisetzung nach Zufuhr behandelte Gülle zeigte ebenso keine statistisch signifikanten Effekte ([Abb. 4](#)). Somit hat eine Absenkung des pH-Werts der Gülle in Folge der Ansäuerung mit H_2SO_4 bzw. der Säurebildung durch die homofermentativen Mikroorganis-

men keinen Einfluss auf das Mineralisationsverhalten der organischen Substanz ([Abb. 4](#)).

[Abbildung 5](#) zeigt die Nitratkonzentrationen zu Versuchsende im Zuge der Bestimmung der Spurengasflüsse (Versuch 1). Die Nitratkonzentrationen der Varianten lassen sich in drei Gruppen einteilen. 23 Tage nach Gülleapplikation wiesen die Behandlungen „Gülle“, „ H_2SO_4 “, „EM Chiemgau“ und „Agrostim“ die höchsten NO_3 -Konzentrationen auf ([Abb. 5](#)). Nach Subtraktion der NO_3 -Gehalte aus der „Kontrolle“ entsprachen die NO_3 -Gehalte dieser 4 Varianten einer Wiederfindung zwischen 89 % und 96 % (bezogen auf den über die Gülle applizierten NH_4 +N).

Die Behandlung mit „homofermentativen Milchsäurebakterien“ und „Amefesol“ wiesen im Vergleich hierzu geringere Nitratkonzentrationen auf ([Abb. 5](#)). Da die gasförmigen N-Verluste als NH_3 in Versuch 1 aufgrund des geringen Gasflusses durch den Luftraum der Glasgefäße gering waren (< 1 % des NH_4 +N in allen Behandlungen, nicht dargestellt) liegt die Vermutung nahe, dass die geringeren NO_3 -Gehalte (Wiederfindung von 59 % bei „homofermentativ“ und 72 % bei „Amefesol“) ein Ergebnis starker mikrobieller N-Immobilisierung waren, die durch die Zugabe großer Mengen N-armer Substrate verursacht wurde.

In den Bodenextrakten wurden zudem die NH_4 +Konzentrationen gemessen. Diese waren jedoch in jeder Behandlung < 1 mg NH_4 +N kg⁻¹. Dies kann als ein Indiz für den vollständigen Ablauf der Nitrifikation des aus der Gülle stammenden NH_4 +N gewertet werden. Aufgrund der geringen Konzentrationen wurde auf die Darstellung der NH_4 +Konzentrationen verzichtet!

Versuch 2:

Einfluss der Güllebehandlung auf die NH_3 -Freisetzung nach Ausbringung

Die NH_3 -Freisetzung stieg bei allen Behandlungen, außer der „Kontrolle“, über den Versuchszeitraum von 13 Tagen an ([Abb. 6](#)). Bei der NH_3 -Freisetzung zeigten sich Gruppen mit unterschiedlichem Emissionsniveau.

Die höchsten Verluste traten, bezogen auf den NH_4 +N-Gehalt der Gülle, mit rund 23 % bis 27 % in den Varianten „Gülle unbehan-



delt“, „Amefesol“, „EM Chiemgau“ und „Agrostim“ auf. Die pH-Werte waren in diesen Fällen alle nahezu neutral bis leicht alkalisch.

Mit 8 % bzw. 13 % waren die NH_3 -Emissionen der beiden Behandlungen „ H_2SO_4 “ und „homofermentative MS Bakterien“ signifikant niedriger als in oben genannter Gruppe (Abb. 7). Dies dürfte überwiegend auf den niedrigeren pH-Wert und der damit verbundenen Verschiebung der Gleichgewichtsreaktion: $\text{NH}_4^+ = \text{NH}_3 + \text{H}^+$ zugunsten des NH_4^+ zurückzuführen sein.

Modul B Ammoniakverluste im System „dynamische Kammern“ in Abhängigkeit unterschiedlicher Güllebehandlung

In Abhängigkeit vom jeweiligen pH-Wert der Versuchsgülle wurden unterschiedliche Mengen an Ammoniak über den Versuchszeitraum gemessen. Keine Verluste traten nach Behandlung mit homofermentativen Mikroorganismen (HO) auf (Abb. 8). Ebenso konnte nach Behandlung mit konzentrierter Schwefelsäure (Sc) erst nach 48 Stunden eine geringe Menge an Ammoniak gemessen werden. Dies kann auf die zunehmende Pufferung der Säureanteile über die basisch wirksamen Bestandteile von Gülle und Boden zurückzuführen sein. Alle übrigen Varianten zeigen eine deutliche Ammoniak-Freisetzung.

Testung der Pflanzenverträglichkeit

Die Ergebnisse decken sich mit den Ergebnissen die in Modul A ermittelt wurden. Deshalb wird auf die Darstellung der Ergebnisse an diese Stelle verzichtet.

Modul C Gefäßversuch mit unterschiedlich behandelter Güllevarianten

Alle Behandlungsverfahren zeigten Mehrerträge gegenüber unbehandelter Rindergülle, wobei die Varianten nach Behandlung mit homofermentativen Milchsäurebakterien und Schwefelsäure die größten Mehrerträge erzielten (Abb. 9). Es wurde deutlich, dass eine Ansäuerung der Gülle eine signifikante Reduzierung der NH_3 -Emission zur Folge hatte

und somit den Pflanzen mehr nutzbarer Stickstoff, über die Bodenpassage zur Verfügung stand. Diesen Stickstoff konnte die Pflanze auch in Mehrertrag umsetzen.

Zu den Aufwüchsen 2 bis 4 wurde die jeweilige Gülle oberflächlich auf die Grasnarbe aufgebracht und nach Plan entweder sofort oder nach 24 h eingeregnet. In der Folge zeigten sich Mehrerträge bei sofortiger Einregnung gegenüber der verspäteten Einregnung über alle Behandlungsvarianten und Erntetermine. Im Durchschnitt der behandelten Gülle lag die Ertragssteigerung in Folge direkter Einregnung gegenüber der um 24 h verspäteten Einregnung bei 34 %. Die Variante mit mineralischer Düngung erreichte immer den höchsten TS-Ertrag. Der Mehrertrag aufgrund der Ansäuerung der Gülle mit Schwefelsäure war zum 2., 3. und 4. Schnitt bei sofortiger Einregnung deutlich. Beim 5. Aufwuchs war dieser Ertragsvorsprung nicht mehr zu erkennen. Dagegen zeigte sich nun im Falle verspäteter Einregnung ein positiver Ertragseffekt bei der Variante „Schwefelsäure“ im Vergleich zur unbehandelten Rindergülle. Effektive Mikroorganismen (EM) und Agrostim zeigten kaum Effekte. Der Ertrag der Variante mit homofermentativen Milchsäurebakterien (HMB) war bei direkter Einwaschung geringer. Bei verspäteter Einregnung stieg er - verglichen mit den anderen Behandlungsvarianten - an. Zur besseren Bewertung der Ertragsleistung ist festzuhalten, dass ein Ertrag von 20 g TS je Gefäß etwa 52,6 dt TS/ha entspricht.

Tabelle 3 und 4 beschreiben signifikante Unterschiede zwischen den Behandlungsverfahren mit direkter (Tab. 3) bzw. verspäteter Einregnung (Tab. 4). Dabei wurden der 1., der 2. bis 4. sowie der 5. und 6. Schnitt zu je einer Kategorie zusammengefasst. Als Ertrag war der mittlere Ertrag je Gefäß definiert, die Sortierung erfolgte absteigend, nach dem Ertrag des 2. bis 4. Schnittes, da dieser Block für die Bewertung der jeweiligen Güllebehandlung ausschlaggebend war. Statistisch gesicherte Unterschiede werden mit dem Signifikanzniveau $p \leq 0,05$ dargestellt.

Die relativen Mehrerträge der Güllevarianten mit Behandlung gegenüber der unbehandelten Rindergülle mit direkter Einregnung, sind in Abbildung 10 dargestellt. Die Effekte einer Behandlung mit Milchsäurebakterien (HMB) und Schwefelsäure werden sehr deutlich.

Behandlung	1. Schnitt		2. - 4. Schnitt		5. und 6. Schnitt	
	Ertrag [g TN/ Gefäß]	stat. Klasse	Ertrag [g TN/ Gefäß]	stat. Klasse	Ertrag [g TN/ Gefäß]	stat. Klasse
mineralische Düngung	17,2	A	20,5	A	20,5	A
Schwefelsäure	13,4	B	16,9	B	20,8	A
homo. Bakterien	12,1	C	14,8	C	19,4	A
Amefesol	13,3	B	14,2	C	19,2	A
Agrostim	13,7	B	13,9	C/D	11,2	B
eff. Mikroorganismen	13,8	B	12,5	D	12,7	B
Rindergülle	13,1	B/C	12,4	D	11,8	B
ohne Düngung	6,8	D	1,9	E	2,2	C

Tabelle 3
Mittlerer Ertrag der Varianten mit direkter Einregnung aufgeteilt in drei Kategorien (statistisch gesicherte Unterschiede bei $p \leq 0,05$)

Trotz der um 24h verzögerten Einregnung konnten bei den angesäuerten Varianten in etwa die gleichen Erträge erzielt werden, wie bei unbehandelter Rindergülle mit direkter Einregnung.

Die Aufwüchse des 2.-4. Schnittes weisen deutliche Mindererträge im Block mit verspäteter Einregnung auf. Demnach hat der Zeitpunkt des Niederschlages einen signifikanten Effekt auf die Ausgasung von Ammoniak und damit die Ertragswirkung des Stickstoffs der Gülle. In den ersten Stunden nach der Ausbringung sind die Ammoniak-Emissio-

nen am höchsten, so dass es in Folge der um 24 h verspäteten Einregnung zu einer sehr starken Ausgasung von NH_3 kommen konnte (BRASCHKAT 1996).

Der signifikant höhere Ertrag der Variante mit Schwefelsäure-Behandlung bei direkter Einregnung und der mit HO- sowie Sc-Zugabe bei verspäteter Einregnung, ist eindeutig auf die „Ansäuerung“ zurückzuführen. Das bedeutet, dass bei ungünstigen Ausbringbedingungen (Sonnenschein, keine Einarbeitung, etc.) eine Ansäuerung sinnvoller ist.

Behandlung	1. Schnitt		2. - 4. Schnitt		5. und 6. Schnitt	
	Ertrag [g TN/ Gefäß]	stat. Klasse	Ertrag [g TN/ Gefäß]	stat. Klasse	Ertrag [g TN/ Gefäß]	stat. Klasse
Schwefelsäure	11,9	C	13,2	A	21,7	A
homo. Bakterien	12,9	B/C	12,7	A	20,4	A
Amefesol	14,0	A	10,2	B	20,3	A
Agrostim	13,7	A/B	9,4	B/C	14,6	B
eff. Mikroorganismen	14,0	A	9,4	B/C	15,9	B
Rindergülle	13,9	A/B	8,8	C	15,0	B

Tabelle 4
Mittlerer Ertrag der Varianten mit verspäteter Einregnung, aufgeteilt in drei Kategorien und deren statistischen Vergleichsklassen



Foto: M. Elsässer

Gülleverteilung mit dem Schleppschlauch auf Grünland



Prof. Dr. Martin Elsässer
LAZBW
Tel. 07525/ 942351
martin.elsaesser@lazbw.
bwl.de

Zusammenfassung und Bewertung

Im Laborversuch zeigten die unterschiedlich behandelten Varianten keine signifikanten Unterschiede in der N_2O - und CO_2 -Freisetzung nach einer Gülleapplikation. Die N_2O -Flussraten lagen dabei auf einem ähnlich hohen Niveau wie es von Freilanduntersuchungen nach der Düngung mit organischen N-Düngern berichtet wird (VAN GROENIGEN et al., 2004; WULF et al., 2002).

Die Behandlung der Rindergülle mit „Agrostim“, „Amefesol“ und „EM Chiemgau“ führte im Vergleich zu „unbehandelter“ Gülle nicht zu einer Verminderung der NH_3 -Emissionen. Im Gegensatz dazu wurde der pH-Wert der Gülle durch die Behandlung mit homofermentativen Bakterien im Güllelager um über eine pH-Einheit auf Werte

unter 6,0 gesenkt. Dies führte zu einer effektiven Minderung der NH_3 -Freisetzung um 43 % gegenüber der Kontrollvariante.

Durch den Einsatz von H_2SO_4 zur Ansäuerung der Gülle konnte die NH_3 -Freisetzung um 66 % vermindert werden. Aufgrund der teils großen Streuung unterschieden sich aber die beiden Varianten „ H_2SO_4 “ und „homofermentative Milchsäurebakterien“ statistisch diesbezüglich nicht. Der Einsatz von homofermentativen Bakterien scheint somit eine vielversprechende Möglichkeit, die NH_3 -Emissionen mit wenig Aufwand bereits im Güllelager zu mindern. Andererseits zeigen Ergebnisse einer dänischen Studie (HJORTH, et al., 2016), dass bereits eine Zugabe von Substrat, also Zucker, ausreichen würde, um eine Aktivität von Milchsäurebakterien in der Gülle anzuregen. Betrachtet man zudem das Gefahrenpotential beim Umgang mit starken Säuren wie H_2SO_4 , so bietet sich die diesbezüglich unproblematische Anwendung von homofermentativen Bakterien für weitere Untersuchungen hinsichtlich deren NH_3 -Minderungspotential besonders an.

Im Pflanzenverträglichkeitstest musste jedoch festgestellt werden, dass diese vielversprechende Variante mit Ausnahme einer Verdünnung von 1:100 eine negative Wirkung auf das Wurzel- und Sprosswachstum im Pflanzenverträglichkeitstest hatte. Das bedeutet, dass eine wachstumshemmende Wirkung auf das Wurzelwachstum insbesondere junger Pflanzenbestände möglich sein kann. Da dies in Grünlandbeständen nach dem 1. Ernteschnitt, aber auch in wachsenden Beständen auf Ackerflächen zu berücksichtigen ist, ist davon auszugehen, dass eine Güllebehandlung unter diesem Aspekt nicht zwingend einen Vorteil bringt.

Eine Reduktion der N-Verluste wirkt sich dagegen stets ertragsfördernd bzw. umweltschonend aus, kann jedoch auch auf technischem Wege erreicht werden. Wenn zudem unbehandelte Gülle zeitnah zur Ausbringung eingearbeitet werden kann, z. B. bei Ausbringung auf unbestellter Ackerfläche oder wenn nach Aufbringung auf Grünland innerhalb weniger Stunden Niederschlag fällt, ist keine Behandlung der Gülle nötig. ■

Literatur