

Serie Tieremissionen

Einfluss der Gülleapplikationstechnik auf Ertrag und Stickstoffflüsse im Grasland

Olivier Huguenin-Elie¹, Daniel Nyfeler², Christof Ammann¹, Annett Latsch³ und Walter Richner¹

¹Agroscope, 8046 Zürich, Schweiz

²Bildungs- und Beratungszentrum Arenenberg, 8268 Salenstein, Schweiz

³Agroscope, 8356 Ettenhausen, Schweiz

Auskünfte: Olivier Huguenin-Elie, E-Mail: olivier.huguenin@agroscope.admin.ch



Der Versuch zum Einfluss von zwölf verschiedenen Gülleapplikationsverfahren auf den Wiesenertrag (Standort Tänikon) wurde mit einem mit Breit-, Schleppschlauch- und Schleppschuhverteiler ausgerüsteten Versuchsgüllefass durchgeführt. (Foto: Annett Latsch, Agroscope)

Einleitung

Die Landwirtschaft verursacht ungefähr 90 % der gesamten Emissionen von Ammoniak (NH_3) in der Schweiz, und die landwirtschaftlichen NH_3 -Emissionen sind deutlich höher als dies das entsprechende «Umweltziel Landwirtschaft» vorsieht (BAFU und BLW 2016). Die landwirtschaftlichen NH_3 -Emissionen stammen zum grössten Teil

aus der Tierproduktion, mit der Hofdüngerausbringung als wichtigstem NH_3 -Verlustpfad (46 % der NH_3 -Emissionen der Tierhaltung) (Kupper *et al.* 2015). Auf der anderen Seite ist das Recycling der Hofdüngernährstoffe für eine nachhaltige Landwirtschaft unerlässlich. Aus diesen Gründen werden Massnahmen zur Verringerung

der NH_3 -Emissionen gefördert, u. a. die Ausbringung von flüssigen organischen Düngern mittels emissionsarmen Verfahren. Zu den technisch und betrieblich möglichen Massnahmen auf diesem Gebiet zählen die bandförmige Ausbringung mit Schleppschlauchverteilern oder – in der Schweiz seltener – Schleppschuhverteilern und Verfahren zur flachen Einarbeitung.

Während eine relativ gute in- und ausländische Datenbasis zeigt, dass die NH_3 -Emissionen durch angepasste Gülleausbringetechnik reduziert werden, gibt es weniger Untersuchungsergebnisse zur pflanzenbaulichen Wirksamkeit des Stickstoffs (N), der dank emissionsarmer Ausbringung zusätzlich in den Boden gelangt. Die potenziellen agronomischen Vor- und Nachteile des Einsatzes von bandförmigen Ausbringetechniken werden deshalb aktuell noch kontrovers diskutiert.

Ziel dieser Publikation ist eine Übersicht über den Wissensstand zum Ausmass der Reduktion der NH_3 -Verluste bei emissionsarmer Gülleausbringetechnik, zur pflanzenbaulichen Ertragswirkung des auf diese Weise weniger emittierten N sowie zum Verlust dieses N auf anderen Verlustpfaden. Dazu werden Ergebnisse von schweizerischen Ausbringungsversuchen und die wissenschaftliche Literatur analysiert. Diese Arbeit ist primär auf den Futterbau ausgerichtet, weil der grösste Teil der Gülle in der Schweiz auf Graslandbestände ausgebracht wird.

Bandförmige Ausbringetechnik: geringere NH_3 -Emissionen

Einflussfaktoren auf die NH_3 -Emission

Die «Volatilisierung» von NH_3 aus der Gülle, das heisst der Übertritt von der wässrigen Phase in die flüchtige Gasphase, tritt bevorzugt dann auf, wenn die Gülle eine grosse Kontaktfläche zur Aussenluft hat, von der das emittierte NH_3 durch Luftbewegungen schnell abgeführt wird. Diese Situation ist vor allem bei der Breitverteilung gegeben, bei der die Gülle in relativ geringer Dichte auf die gesamte Bodenoberfläche und, falls vorhanden, Pflanzenoberflächen verteilt wird. Emissionsmindernde Ausbringetechniken beruhen deshalb generell darauf, die Fläche und/oder die Zeit der Exposition zu reduzieren (UNECE 2014).

Die einfachste und effizienteste Massnahme zur Emissionsminderung ist eine sofortige Einarbeitung der Gülle nach Ausbringung durch Pflügen oder andere Bodenbearbeitungen. Dies ist aber nur bei Brachflächen im Ackerbau möglich. Im schweizerischen Futterbau kommen deshalb andere Techniken zum Einsatz, welche die Expositionsfläche auf mehr oder weniger schmale Bänder reduzieren. Angestossen durch gezielte Förderpro-

Zusammenfassung

Bei der Verwendung eines Schleppschlauchs oder Schleppschuhs gelangen pro Gülleausbringung bei einer üblichen Applikationsmenge 2–3 kg mehr Stickstoff pro Hektare in den Boden als mit dem Breitverteiler, weil 30–50 % weniger Ammoniak entweicht. Dies zeigen in der Schweiz zu verschiedenen Jahreszeiten durchgeführte Messreihen sowie eine Literaturübersicht. In einem zweieinhalbjährigen Feldversuch wurde am ersten Standort kein Ertragsunterschied zwischen Schleppschlauch- und Breitverteilerausbringung festgestellt. Die Verdünnung der Gülle führte dagegen zu einer Ertragssteigerung. Am zweiten Standort dieses Versuchs war ein tendenziell höherer Gesamtertrag mit dem Schleppschlauch im Vergleich zum Breitverteiler zu beobachten ($p=0,063$). Die kombinierte Analyse in- und ausländischer Ausbringungsversuche zeigt mittlere Mehrerträge von Graslandbeständen von 2,5 % mit Schleppschlauch und 5,8 % mit Schleppschuh im Vergleich zum Breitverteiler. Zu den Verlustpfaden des Stickstoffs, der dank der emissionsmindernden Technik zusätzlich in den Boden gelangt, ist der Wissensstand noch ungenügend. Auswaschungs- und Denitrifikationsverluste nehmen gemäss aktuellem Wissensstand nicht so stark zu, dass damit eine Reduktion der Stickstoff-Ertragswirksamkeit zu erwarten ist. Wie die Ausbringetechnik die Dynamik des organischen Stickstoffs im Boden beeinflusst, ist noch gänzlich unerforscht.

gramme (Ressourcenprojekte oder -effizienzbeiträge) des Bundes ist unterdessen der Schleppschlauch weit verbreitet. Wesentlich seltener im Einsatz sind Schleppschuh und Schlitzinjektion, bei welchen die Gülle direkt auf oder sogar in den Boden ausgebracht und so die effektive Expositionsfläche weiter reduziert wird. Allerdings stösst man in der Praxis mit schlitzenden Verfahren schnell an Grenzen, unter anderem bei schweren oder steinigten Böden sowie bei grösserer Hangneigung oder sonst schwierigen topografischen Bedingungen.

Tab. 1 | Reduktion der Ammoniakemission durch Anwendung verschiedener emissionsmindernder Ausbringtechniken (relativ zur Referenzmethode Breitverteiler) im Futter- und Ackerbau: Messresultate aus einer internationalen Literatursynthese (Webb *et al.* 2010) sowie einer Untersuchung in der Schweiz (Häni *et al.* 2016).

Ausbringtechnik	International (Webb <i>et al.</i> 2010)			Schweiz (Häni <i>et al.</i> 2016)		
	n ^a	Reduktion (Mittelwert)	Reduktion (Streubereich) ^c	n ^a	Reduktion (Mittelwert)	Reduktion (Streubereich) ^d
Futterbau (Grasland)						
Schleppschauch	45	35 %	0–74 %	7	51 %	22–68 %
Schleppschuh	37	64 %	57–70 %	5	53 %	36–71 %
Schlitzinjektion	56	80 %	60–99 %	1	76 %	–
Ackerbau						
Schleppschauch	16	37 %	0–75 %			
Schlitzinjektion	9	70 %	23–94 %			
Sofortige Einarbeitung	35	68–94 % ^b	60–99 %			

^a Anzahl Einzelexperimente

^b Variationsbereich der Mittelwerte für verschiedene Ausbring- und Einarbeitungstechniken

^c Streubereich der Mittelwerte einzelner Publikationen

^d Streubereich der einzelnen Experimente

Neben der Ausbringtechnik beeinflussen auch die Umgebungsbedingungen (Bodentyp und Feuchte, Temperatur, Wind) sowie die Güllezusammensetzung (v. a. der Feststoffanteil) die Geschwindigkeit der Infiltration in den Boden bzw. direkt die Volatilisierungsrate und damit den absoluten NH₃-Verlust (Søgaard *et al.* 2002; Hafner *et al.* 2018). Es ist allgemein bekannt, dass sich durch eine Verdünnung der Gülle sowie durch die Wahl eines günstigen Ausbringzeitpunktes (kühl, feucht, windstill, kein wassergesättigter respektive komplett ausgetrockneter Boden) die NH₃-Verluste beträchtlich reduzieren lassen (Frick und Menzi 1997). Aufgrund des raschen Emissionsverlaufes sind dabei die ersten Stunden nach dem Gülleaustrag massgebend. Aus diesem Grund wird der Effekt von emissionsmindernden Ausbringtechniken in Feldstudien üblicherweise durch einen direkten Vergleich mit der Referenzmethode Breitverteiler (meistens Prallteller) untersucht, also mit derselben Gülle bei gleichen Boden-, Vegetations- und Wetterbedingungen (Misselbrook *et al.* 2002; Häni *et al.* 2016).

Stand des Wissens zum quantitativen Minderungseffekt

Basierend auf einer Literatursynthese von europäischen Experimentalstudien haben Webb *et al.* (2010) Mittelwerte für die Emissionsreduktion der verschiedenen Ausbringtechniken relativ zum Breitverteiler bestimmt.

Die Resultate sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Sie zeigen eine deutliche und ansteigende Reduktion für die Anwendung von Schleppschauch, Schleppschuh und Injektion. Eine sofortige Einarbeitung der Gülle bei Ackerflächen verringerte die Emissionen noch weiter. Die von Webb *et al.* (2010) gefundenen Mittelwerte stimmen näherungsweise mit den Richtwerten von UNECE (2014) für die NH₃-Emissionsreduktion überein: 30–35 % für Schleppschauch, 30–60 % für Schleppschuh und 70 % für offene Schlitzinjektion. Für das Schweizer NH₃-Emissionsmodell Agrammon werden ähnliche Reduktionswerte benutzt, die zum Teil auf den UNECE-Vorgaben beruhen: Schleppschauch 30 %, Schleppschuh 50 % und Schlitzinjektion 70 % (Kupper und Menzi 2013).

Um diese Reduktionswerte für den Futterbau in der Schweiz zu überprüfen, haben Agroscope und HAFL in einem gemeinsamen Projekt zwischen 2011 und 2014 den Effekt von emissionsmindernden Ausbringtechniken in sechs Messkampagnen zu verschiedenen Jahreszeiten untersucht (Häni *et al.* 2016). Die Gesamtergebnisse dieser Studie sind in Tabelle 1 aufgelistet. Sie zeigen ebenfalls eine deutliche Emissionsreduktion für Schleppschauch, Schleppschuh und Injektion (in ansteigender Reihenfolge). Für die Schleppschauchtechnik ist die mittlere Emissionsreduktion bei Häni *et al.* (2016) etwa um die Hälfte höher als bei Webb *et al.* (2010), die Streubereiche überdecken sich aber vollständig. Für

die Schleppschuh- und Injektionstechnik zeigen beide Studien sehr ähnliche Mittelwerte. Die Streubereiche der Versuchsergebnisse in Tabelle 1 zeigen, dass der Reduktionseffekt bei allen Ausbringtechniken in einzelnen Fällen stark vom Mittelwert abweichen kann. Hauptfaktoren für diese Abweichungen sind wahrscheinlich Unterschiede im Trockensubstanz(TS)gehalt der Gülle (UNECE 2014; Häni *et al.* 2016), bei der Bodenfeuchte, dem Wetter sowie der Bestandeshöhe zum Zeitpunkt der Ausbringung. Diese Eigenschaften, welche die Effizienz der emissionsmindernden Techniken beeinflussen, variieren insbesondere im Jahresverlauf. Bei Häni *et al.* (2016) waren die Versuche über die gesamte Bewirtschaftungsperiode (März bis November) verteilt, sodass die resultierenden Mittelwerte als Jahresmittelwerte für die Emissionsreduktion durch Schleppschlauch- und Schleppschuheinsatz interpretiert werden können.

Einfluss der Ausbringtechniken auf den Ertrag im Futterbau

Erhöhung der N-Düngung

In der Studie von Häni *et al.* (2016) betrug der mittlere NH_3 -Verlust mit der Breitverteiler-Referenztechnik im Mittel 20 % des ausgebrachten löslichen N, was bei einer üblichen Applikationsmenge einem absoluten Verlust von etwa 5–6 kg N/ha pro Gülleaushbringung entspricht. Werden durch die Verwendung von Schleppschlauch oder Schleppschuh 30–50 % dieser Emission reduziert,

so entspricht dies 2–3 kg N/ha, die zusätzlich in den Boden gelangen. In intensiv genutztem, produktivem Grasland (fünf bis sechs Schnitte, Düngung von 1,1–1,3 kg N pro Dezitonne [dt] geerntete TS) kann für Grasreinbestände mit einem Düngungseffekt von 20–30 kg und für Gras-Klee-Mischbestände mit 5–15 kg TS pro kg zusätzlich verfügbarem N gerechnet werden (Whitehead 2000). Bei einer Einsparung pro Gülleaushbringung von 2–3 kg N/ha sollte also rechnerisch ein Mehrertrag von 0,1–0,9 dt TS/ha pro Aufwuchs resultieren. Bei fünf Aufwüchsen würde dies einen jährlichen Mehrertrag von 0,5–4,5 dt TS/ha ergeben, was bei einem Jahresertrag von 110–130 dt TS/ha einem relativen Effekt von lediglich 0,4–4,1 % entspricht.

Feldversuche 2012–2014 im Kanton Thurgau

Das ausführlichste Forschungsprojekt im Schweizer Grasland mit dem Fokus auf die Ertragswirkung von emissionsmindernden Ausbringtechniken wurde zwischen Sommer 2012 und Ende 2014 im Kanton Thurgau an den Standorten Tänikon und Arenenberg durchgeführt (Latsch *et al.* 2015). In diesem Versuch wurden die folgenden Faktoren untersucht: 1. Ausbringtechnik (Breitverteiler / Schleppschlauch / dazu Schleppschuh am Standort Tänikon), 2. Ausbringzeitpunkt (früh = unmittelbar nach vorausgehender Ernte / spät = 7–10 Tage verzögert), 3. Güllekonsistenz (dick = mittlerer TS-Gehalt 4,1 % / dünn = mittlerer TS-Gehalt 2,4 %; nur am Standort Tänikon), 4. Pflanzenbestand (Gras-Klee-Mischbe-

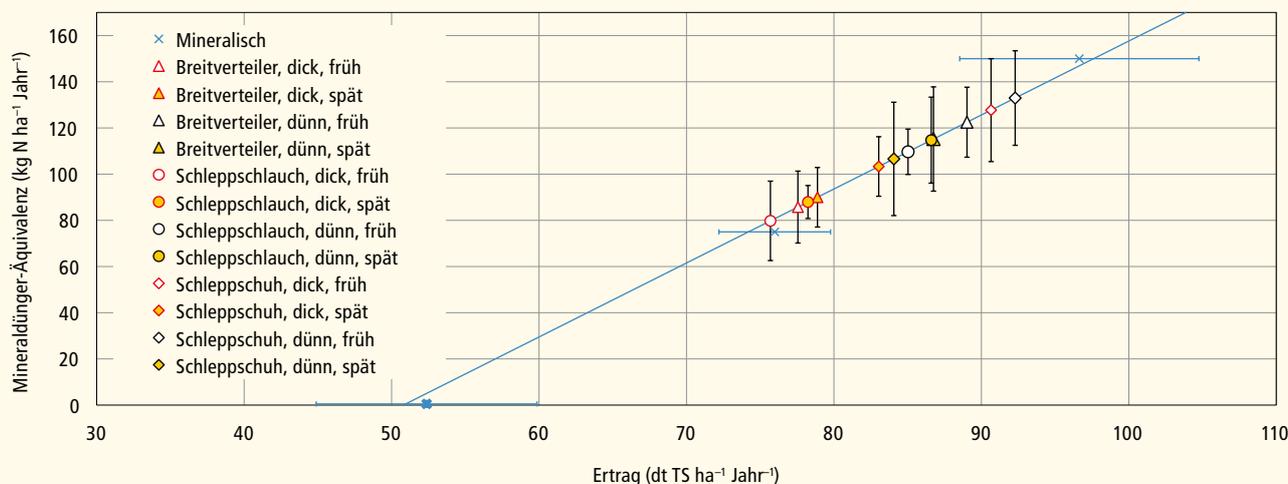


Abb. 1 | Mineraldünger-Äquivalenz der Gülleapplikationen für die drei Applikationstechniken Breitverteiler, Schleppschlauch und Schleppschuh bei den Grasreinbeständen am Standort Tänikon. Die dargestellten Jahreserträge sind die Mittelwerte 2013–2014 für jedes Verfahren (Mittelwert der drei Wiederholungen plus/minus Standardabweichung). Die Regressionskurve wurde aufgrund der vier Stufen des mineralischen Düngungsverfahrens erstellt; die höchste Düngungsstufe (300 kg N/ha/Jahr) ist für die Regression berücksichtigt, aber in der Grafik nicht dargestellt. Der Schnittpunkt dieser Kurve mit dem gemittelten Ertrag jeder Ausbringtechnik ergibt deren Mineraldünger-Äquivalenz.

stand / Grasreinbestand). Sämtliche Verfahren waren dreifach repliziert. Grasreinbestände wurden einbezogen, um Kompensationseffekte durch die Leguminosen (symbiotische N-Fixierung) bei einer veränderten N-Verfügbarkeit im Boden auszuschliessen. Im Projekt wurden auch ausschliesslich mineralisch gedüngte Parzellen angelegt, um die N-Wirkung der Gülleverfahren abschätzen zu können (Abb. 1). Pro kg zunehmender mineralischer N-Düngung stiegen die Erträge der Grasreinbestände um 30 kg TS in Tänikon und um 37 kg TS am Standort Arenenberg. Dies bedeutet, dass N-limitierte Bedingungen herrschten und damit die Voraussetzung für den Nachweis von Unterschieden in der N-Wirkung der Gülleverfahren gegeben war.

Ein zentrales Ergebnis des Projektes war, dass die Ertragswirkung der Ausbringtechniken einzig für einen der beiden Standorte und ein einziges Jahr signifikante Unterschiede zeigte (Tab. 2): In Tänikon ergab bei dicker Gülle der Schleppschuh im Vergleich zum Schleppschlauch einen signifikanten Mehrertrag im Jahr 2014. Der Breitverteiler lag dazwischen und unterschied sich nicht signifikant von den beiden anderen Verfahren. Bei dünner Gülle waren keine signifikanten Unterschiede zwischen den Ausbringtechniken ersichtlich. Die Ertragssumme über die gesamte Versuchsperiode war für Breitverteiler und Schleppschlauch fast identisch. Entsprechend war die Mineraldünger-Äquivalenz der

Gülleapplikationen mit den drei Ausbringtechniken ähnlich und tendenziell höher mit dem Schleppschuh (Abb. 1). Überhaupt ergab die Verdünnung der Gülle – abgesehen vom zu erwartenden deutlichen Mehrertrag von Gras-Klee-Mischungen im Vergleich zu Grasreinbeständen (Nyfeler *et al.* 2009) – die konsistenteste und stärkste Ertragssteigerung (+10,1 %) für die Applikation mit Breitverteiler oder Schleppschlauch (Tab. 2, Abb. 1). Am Standort Arenenberg war der Unterschied in der Ertragssumme 2012–2014 statistisch nur ganz knapp nicht signifikant ($p = 0,063$), mit einer Tendenz zu einem höheren Ertrag mit dem Schleppschlauch im Vergleich zum Breitverteiler (+6,8 %; Tab. 2).

Bezüglich Ausbringzeitpunkt deuten die Resultate auf keinen oder nur einen sehr kleinen Ertragseffekt hin: signifikante Unterschiede wurden nur an einem Standort und in einem einzigen Jahr festgestellt. Beim Einsatz von Schleppschlauch und Schleppschuh wird oft empfohlen, die Gülle erst in den etwas nachgewachsenen Pflanzenbestand auszubringen, um eine allfällige Futtermittelverschmutzung durch das Anheben der eingetrockneten Güllestreifen mit dem Pflanzenwachstum zu verhindern. Die Ergebnisse des Versuchs bezüglich Effekten der Ausbringtechnik auf die Silagequalität sind in Wyss *et al.* (2017) beschrieben.

Die ausgebrachte Düngung konnte bei allen Versuchungsverfahren um eine ähnliche Grössenordnung in Bio-

Tab. 2 | Ergebnisse der statistischen Analyse des im Kanton Thurgau durchgeführten Versuchs für den Futterertrag beider Standorte und der einzelnen Versuchsjahre sowie die Summe über die gesamte Versuchsperiode. Für die Ertragssumme 2012–2014 sind die Mittelwerte der Haupteffekte angegeben. Im Jahr 2012 startete der Versuch nach dem dritten Schnitt.

	2012	2013	2014	Summe 2012–2014				
				Gesamtertrag (dt TS/ha)			SFM	
Tänikon								
Ausbringtechnik	ns	ns	*	.	BV: 205	SL: 203	SU: 213	3,2
Ausbringzeitpunkt	*	ns	ns	ns	Früh: 209	Spät: 205		2,6
Güllekonsistenz	**	ns	**	**	Dick: 201	Dünn: 213		2,6
Pflanzenbestand	***	***	***	***	Gras: 189	Misch: 227		2,6
Ausbringt. × Konsist. ¹	ns	ns	**	*				
Arenenberg								
Ausbringtechnik	ns	ns	ns	.	BV: 237	SL: 254		5,7
Ausbringzeitpunkt	ns	ns	ns	ns	Früh: 244	Spät: 246		5,7
Pflanzenbestand	***	***	.	***	Gras: 225	Misch: 268		5,7

$p \leq 0,001$ (***), $p \leq 0,01$ (**), $p \leq 0,05$ (*), $p \leq 0,1$ (.), ns = nicht signifikant.

BV: Breitverteiler, SL: Schleppschlauch, SU: Schleppschuh, Gras: Grasreinkulturen, Misch: Gras-Klee-Mischungen, TS: Trockensubstanz, SFM: Standardfehler des Mittelwertes.

¹Alle anderen Interaktionen waren nie signifikant.

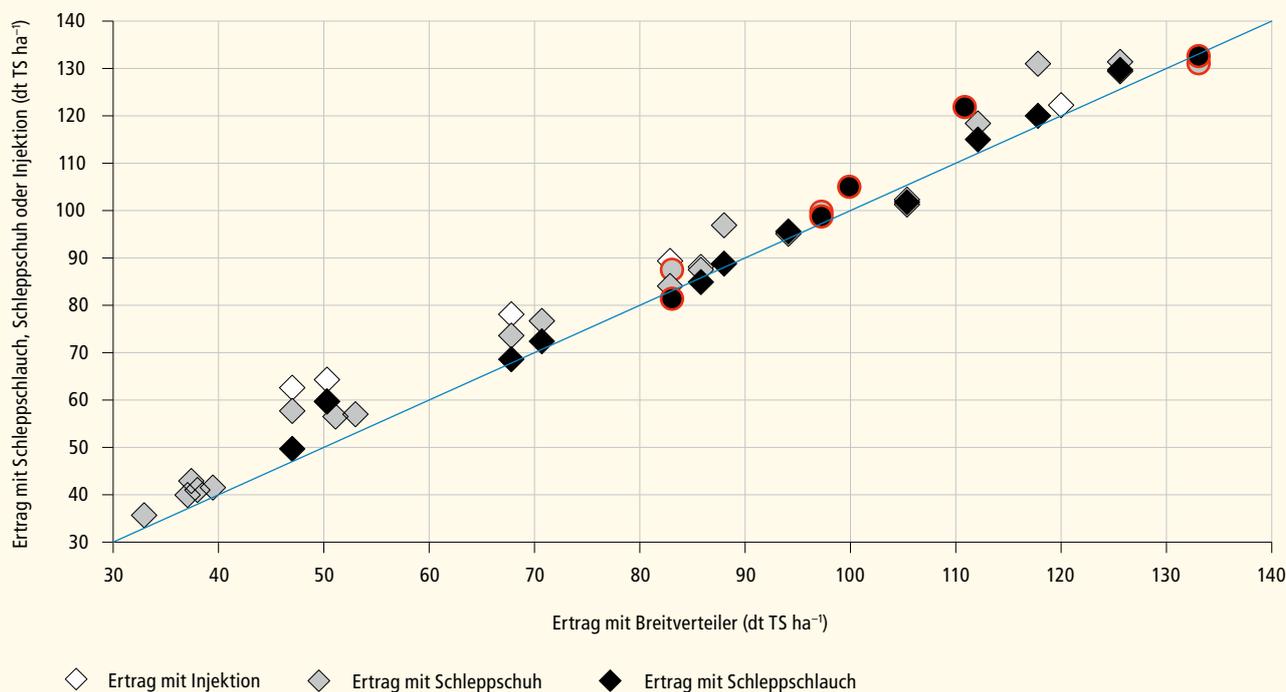


Abb. 2 | Erträge bei Gülleausbringung mit Schleppschauch, Schleppschuh und Injektion im Vergleich zu Gülleausbringung mit Breitverteiler (dt TS/ha). Daten aus schweizerischen (Aeby *et al.* 2017; Latsch *et al.* 2015; runde, rot umrandete Punkte) sowie deutschen und irländischen Versuchen (Berendonk 2011; Hoekstra *et al.* 2010; Kayser *et al.* 2015; Kiefer *et al.* 2004; Kunz 2011; Lalor *et al.* 2011; Lorenz und Steffens 1996; Neff 2011). Konzept der Darstellung aus Aeby *et al.* (2017).

masse umgesetzt werden. Folglich kam es nicht zu einer N-Anreicherung in den Pflanzen, weshalb der Effekt der Gülleverfahren auf den N-Ertrag ähnlich dem Effekt auf den Biomassertrag war.

Literaturübersicht zur Ertragswirkung

Auch in Grangeneuve (FR) wurde ein Feldversuch mit Fokus auf den Vergleich der Ausbringverfahren Breitverteiler, Schleppschauch und Schleppschuh durchgeführt (Aeby *et al.* 2017). Obwohl die emissionsmindernden Ausbringverfahren im Vergleich zum Breitverteiler zu einer deutlichen Reduktion der NH_3 -Emissionen führten (gemäss gleichzeitigen Emissionsmessungen auf nahegelegenen Parzellen; vgl. Häni *et al.* 2016), wurde in diesem Versuch mit Gras-Klee-Mischbeständen kein signifikanter Effekt auf den Ertrag festgestellt.

In den vergangenen 25 Jahren gab es international einige weitere Untersuchungen zur Auswirkung der verschiedenen Gülleausbringtechniken auf den Ertrag. Für die Übersichtsdarstellung (Abb. 2) wurden Daten der nach wissenschaftlichen Grundsätzen durchgeführten Versuche aus der Schweiz (Aeby *et al.* 2017; Latsch *et al.* 2015) und Europa (Berendonk 2011; Hoekstra *et al.* 2010;

Kayser *et al.* 2015; Kiefer *et al.* 2004; Kunz 2011; Lalor *et al.* 2011; Lorenz und Steffens 1996; Neff 2011) herangezogen. In einzelnen Versuchen wurde die Gülle nicht die ganze Saison mit verschiedenen Techniken ausgebracht. In diesen Fällen wurden nicht die Jahreserträge, sondern nur die Erträge jener Schnitte berücksichtigt, die zuvor mit verschiedenen Gülletechniken behandelt worden waren. Für die Auswertung wurden die Ergebnisse separat für jeden Standort und verschiedene Pflanzenbestände verwendet.

Über alle Standorte und Pflanzenbestände ergab die Gülleausbringung mit Schleppschauch im Vergleich zum Breitverteiler einen Mehrertrag von 2,5%. Der Schleppschuh resultierte im Durchschnitt bei einem Mehrertrag von 5,8%, Injektion bei 7,5% (Abb. 2). Der jeweilige durchschnittliche Mehrertrag, der aus der Literaturübersicht gerechnet wurde, liegt somit im Bereich des anhand der erwarteten NH_3 -Emissionsminderung und N-Wirkung berechneten Werts.

Umwandlung und Verlustpfade des Gülle-N im Boden

Im Boden erfährt der Gülle-N verschiedene Umwandlungen und gelangt in die Bodenlebewesen, in die or-

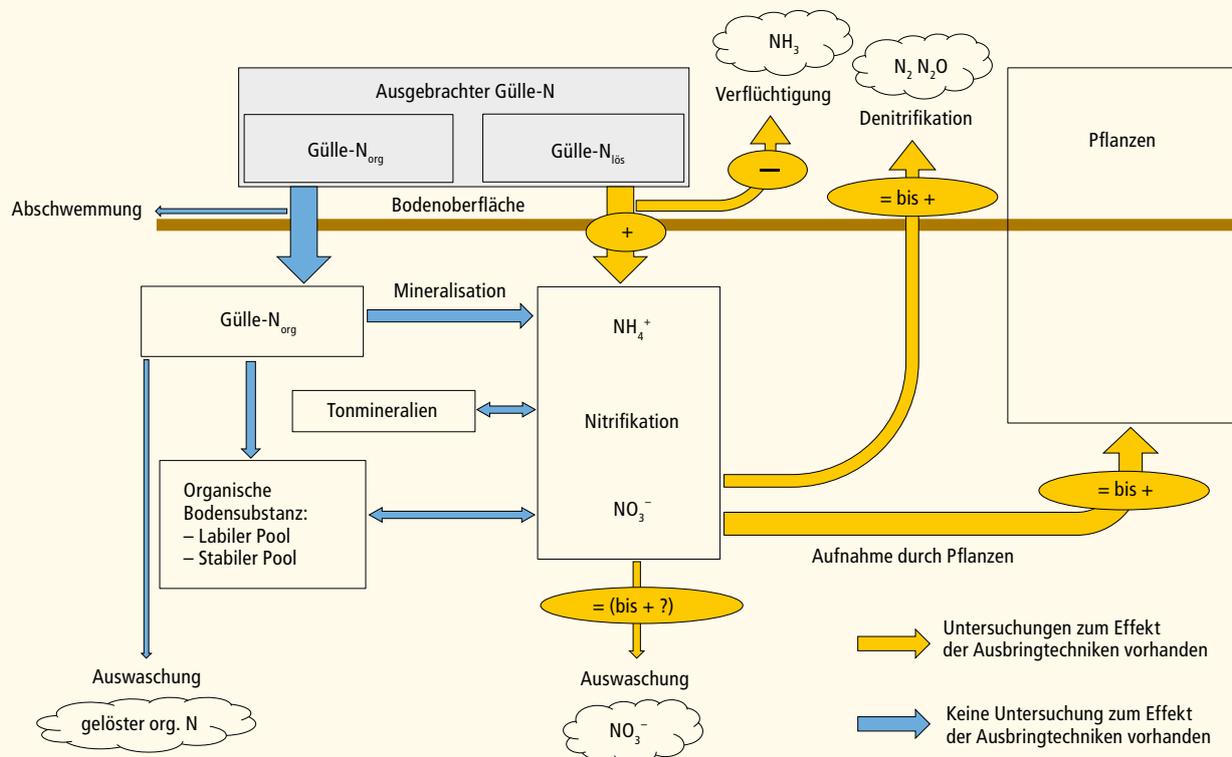


Abb. 3 | Einfluss von bandförmigen Ausbringtechniken auf die Umwandlungen und Verlustpfade des Güllestickstoffs im Boden-Pflanzen-System. Die Zeichen +, – und = kennzeichnen einen fördernden, mindernden bzw. fehlenden Effekt der bandförmigen Ausbringtechniken.

ganischen oder mineralischen Bestandteile des Bodens, in die Pflanzen, in die Luft oder ins Wasser (Abb. 3). Die überwiegende Mehrheit des in Form von NH_4^+ in den Boden eindringenden Gülle-N wird innerhalb von wenigen Stunden bis wenigen Tagen entweder durch die Mikroorganismen aufgenommen, in Nitrat (NO_3^-) umgewandelt oder an die Tonmineralien gebunden (Braun *et al.* 2018). Die organischen Partikel der Gülle werden dagegen zum Teil nur sehr langsam mineralisiert oder sogar langfristig im Boden gespeichert.

Gasförmige N-Verluste durch Nitrifikation und Denitrifikation

Bandförmige Gülleausbringtechniken könnten die Nitrifikation und nachfolgende Denitrifikation im Vergleich zur Breitverteilung der Gülle fördern, weil sie:

- zu mehr Gülle-N im Boden führen (siehe oben),
- Streifen mit einer hohen Konzentration von N und Kohlenstoff (C) im Boden verursachen und
- kurz nach der Gülleausbringung ein kleinräumiges Aufeinandertreffen von aeroben und anaeroben Stellen im Boden fördern können (Zhu *et al.* 2015).

Eine Förderung der Nitrifikation und anschliessender Denitrifikation würde zu erhöhten N-Verlusten in Form von Lachgas (N_2O) und molekularem N (N_2) führen. Eine Tendenz zu höheren N_2O -Verlusten nach der Applikation von Gülle auf Grasland mit Schleppschuh im Vergleich zu Breitverteiler wurde von Bourdin *et al.* (2014) beobachtet. Der Unterschied zwischen den beiden Ausbringtechniken war jedoch statistisch nicht gesichert. In der Studie von Wulf *et al.* (2002) unterschieden sich die Gülleausbringung mit Schleppschlauch, Schleppschuh oder Breitverteiler bezüglich N_2O -Emissionen nicht. Nach einer Gölledüngung entsprechen die N_2O -Verluste nach Senbayram *et al.* (2014) 0,5 bis 2 % des ausgebrachten löslichen N-Anteils ($\text{Gülle-N}_{\text{lös}}$). Die potenziellen Unterschiede zwischen Ausbringtechniken bezüglich N_2O -Verlusten könnten also für die Auswirkung der Düngung auf den Treibhauseffekt relevant sein, aber nicht für ihre Auswirkung auf die Ertragsbildung.

Die gesamten Denitrifikationsverluste (N_2O und N_2) des Gülle-N scheinen im Allgemeinen bescheiden zu sein. Nach einer Gabe von 45 kg Gesamt-N (N_{tot})/ha auf einer Dauerwiese haben Ellis *et al.* (1998) einen Denitrifika-

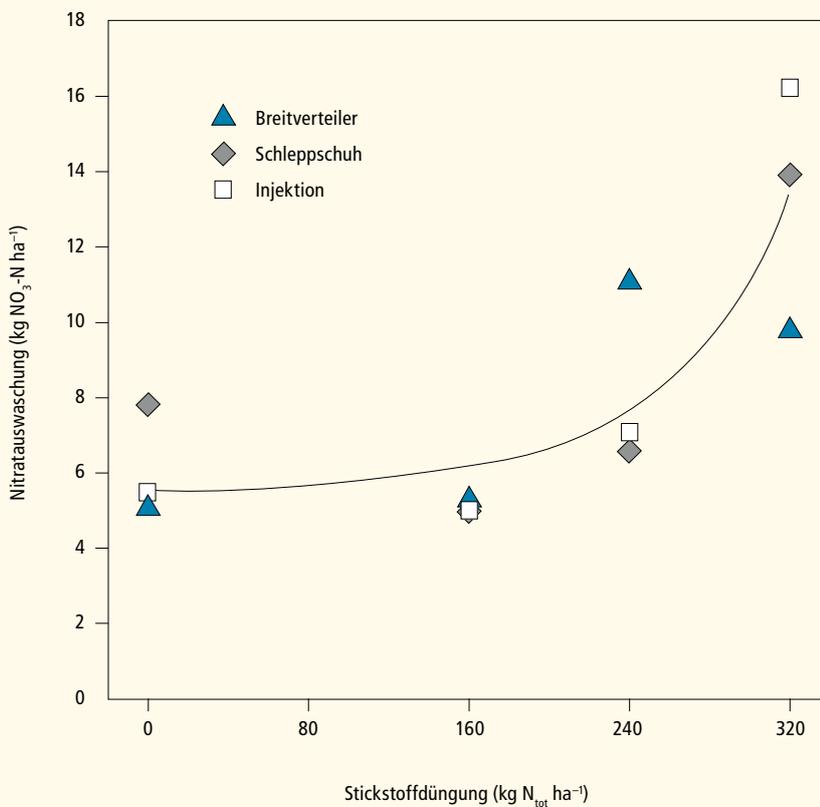


Abb. 4 | Einfluss der mit Rindergülle ausgebrachten N-Menge und der Ausbringtechnik auf die Nitrat auswaschung unter Grasland in einem schluffigen Sand in Niedersachsen. Durchschnitt über vier Versuchsjahre. Daten aus Kayser *et al.* (2015).

tionsverlust von 3–4 % des total gedüngten N während 19 Tagen gemessen. Die Datengrundlage bei den N₂-Verlusten ist jedoch noch sehr klein und die vorhandenen Messwerte stark schwankend. Gemäss Maag und Vinther (1999) können die N₂-Verluste bis fast 20 % des Gülle-N_{tot} ausmachen, wenn der Boden nass ist (im Versuch 72 % wassergefülltes Porenvolumen). Die Ausbringung von Gülle auf wassergesättigte Böden ist in der Schweiz jedoch nicht gestattet. Wir schliessen aufgrund dieser Literaturangaben, dass durch die Ausbringtechnik bedingte mögliche Unterschiede bezüglich Denitrifikationsverlusten unter normalen Ausbringbedingungen keinen relevanten Einfluss auf die Ertragswirkung der Gülle haben.

N-Verluste durch NO₃⁻-Auswaschung

Bei einem Inkubationsversuch mit einem Graslandboden wurde nach nur 48 Stunden schon ungefähr die Hälfte des als NH₄⁺ injizierten N in Form von NO₃⁻ im Boden wiedergefunden (Nitrifikation; Braun *et al.* 2018). Die Pflanzen nehmen N vorzugsweise in Form von NO₃⁻ auf. NO₃⁻ ist jedoch auch auswaschunggefährdet. Prasuhn

et al. (2013) massen in einem Schweizer Lysimeterversuch, dass bei der Düngung einer intensiven Mähwiese mit vier Güllegaben à 30 kg verfügbarem N (N_{verf})/ha die NO₃⁻-Verluste im Durchschnitt dreier Jahre nur 1 % des gedüngten N_{verf} entsprachen. Kayser *et al.* (2015) untersuchten den Effekt der Gülleausbringtechniken auf die NO₃⁻-Auswaschung mit steigenden Mengen ausgebrachter Rindergülle. Dafür benutzten sie eine Wiese auf schluffigem Sand in Norddeutschland. Die Ausbringtechniken Breitverteilung, Schleppschuh und Injektion unterschieden sich nicht signifikant bezüglich Nitrat auswaschung (Abb. 4). Obwohl die wissenschaftliche Literatur über den Effekt von Ausbringtechniken, welche die NH₃-Emissionen mindern, auf die NO₃⁻-Auswaschung sehr beschränkt ist, deuten die verfügbaren Daten darauf hin, dass eine bandförmige Gülleausbringung an der Bodenoberfläche bei einer angepassten Düngung die NO₃⁻-Auswaschung nicht erhöht. Wir konnten keine Studie zum Effekt der Gülleausbringtechnik auf die Auswaschung von gelöstem organischem N ausfindig machen (Abb. 3).

Bindung von Gülle-N

Gülle-N wird zum Teil an Tonmineralien gebunden, indem die NH_4^+ -Moleküle an Kationenaustauschstellen adsorbiert werden. In einem Versuch mit Schweinegülle zeigten Chantigny *et al.* (2004), dass in einem Tonboden nach einem Tag 34 % und in einem sandigen Lehm 11 % des gedüngten Gülle-N an Tonmineralien gebunden waren. Nach 96 Tagen waren dies noch 20 % im Tonboden und nur noch 2 % im sandigen Lehm. Diese Ergebnisse zeigen auch, dass die vorübergehende Bindung von NH_4^+ an die Tonmineralien eine Pufferwirkung auf die N-Konzentration der Bodenlösung bewirkt.

Etwa ein Viertel des Gülle- $\text{N}_{\text{iös}}$ wird in den ersten Wochen nach der Applikation durch die mikrobielle Biomasse des Bodens immobilisiert und kann im Laufe der Zeit allmählich wieder mobilisiert werden (Jensen *et al.* 2000). Auf einer Wiese wurden sechs Wochen nach der Ausbringung von Rindergülle mit Breitverteilung 45 % des im Boden wiedergefundenen Gülle- NH_4 in der mikrobiellen Biomasse wiedergefunden (Hoekstra *et al.* 2011). Die Aufnahme und allmähliche Freigabe des Gülle- $\text{N}_{\text{iös}}$ durch die Bodenmikroorganismen beeinflusst deshalb den mittelfristigen Düngungseffekt von Güllegaben.

Mineralisierung des organischen Gülle-N

Der in den organischen Güllepartikeln enthaltene N (Gülle- N_{org}) wird erst durch zum Teil Jahre dauernde Abbauprozesse mineralisiert. Diese Mineralisierung beeinflusst den mittel- und langfristigen Düngungseffekt der Güllegaben. Dementsprechend wird die mittelfristige N-Verfügbarkeit des N_{tot} von Rindervollgülle in der Schweiz auf 50–70 % geschätzt (Richner *et al.* 2017). Eine internationale Task-Force schätzte die kurzfristige N-Verfügbarkeit des N_{tot} von Rindergülle auf 30–50 % und seine langfristige N-Verfügbarkeit auf 50–80 % (Bittman *et al.* 2014). Der Einfluss der Applikationstechnik auf die Dynamik des Gülle- N_{org} ist allerdings noch vollkommen unerforscht (Abb. 3).

Die Studie von Shah *et al.* (2013) zeigt, dass die Nettomineralisierung nach einer Güllegabe stark vom Bodentyp und/oder vom C-N-Verhältnis im Boden abhängt. Über eine Wachstumsperiode von 180 Tagen entsprach die Nettomineralisierung 3 % des Gülle- N_{org} in einem Sandboden, aber –27 % in einem tonigen Schluff, was eine Nettoimmobilisierung darstellt.

Neben den Düngungsgaben ist die Mineralisierung des schon im Boden vorhandenen organischen N eine weitere N-Quelle für die Pflanzen. Die Daten des Langzeitversuchs von Müller *et al.* (2011) zeigen nach 38 Jahren unterschiedlicher Düngung Folgendes: Jener Grasbestand (als Grasreinbestand gesät), der während dieser

ganzen Zeit nie gedüngt wurde, konnte immer noch ungefähr ein Drittel der N-Menge aus dem Boden aufnehmen im Vergleich zur gesamten N-Aufnahme des intensiv mit Gülle gedüngten Grasbestands (Düngung von 200–250 kg N_{tot} /ha/Jahr). Dies weist auf die grosse Menge an N hin, die im Boden vorhanden und für Pflanzen potenziell verfügbar ist. Im von Fornara *et al.* (2016) beschriebenen Versuch mit einem Boden von 4 % Humusgehalt entsprach die gesamte N-Menge in der Bodenschicht von 0–15 cm ungefähr 5500 kg N/ha. Eine zusätzliche Mineralisierung von jährlich nur 0,3 % des Boden-N würde also in diesem Boden einer zusätzlichen N-Nachlieferung von 15 kg N/ha/Jahr entsprechen. Schon solch geringe Unterschiede bei der Mineralisierung des im Boden organisch gebundenen N hätten also zur Folge, dass durch die Ausbringtechnik bedingte Unterschiede bei den NH_3 -Verlusten kompensiert werden. Dadurch könnten potenzielle Ertragsunterschiede infolge der Ausbringtechnik mittelfristig überlagert werden.

Schlussfolgerungen

In einer aktuellen schweizerischen Untersuchung wurde ein mittlerer NH_3 -Verlust von 20 % des ausgebrachten $\text{N}_{\text{iös}}$ bei herkömmlicher Ausbringung mit Breitverteiltertechnik gemessen. Dies entspricht bei einer üblichen Ausbringmenge von etwa 30 kg N_{vert} /ha einem NH_3 -Verlust von 5–6 kg N/ha. Durch die Reduktion der NH_3 -Emissionen um 30–50 % bei Verwendung von Schleppschlauch oder Schleppschuh gelangen somit 2–3 kg N/ha pro Gülleausbringung zusätzlich in den Boden. Diese Werte sind in guter Übereinstimmung mit der internationalen Literatur.

In einem umfassenden Versuch an den Standorten Tänikon und Arenenberg (TG) wurden bezüglich Biomasse- und N-Ertrag von Graslandbeständen fast keine signifikanten Unterschiede zwischen Schleppschlauch-, Schleppschuh- und Breitverteilerausbringung festgestellt. Die einzige Ausnahme war, dass im Jahr 2014 in Tänikon der Schleppschuh mit dicker Gülle im Vergleich zum Schleppschlauch einen signifikanten Mehrertrag ergab. Die Erträge mit Breitverteiler oder Schleppschlauch waren an diesem Standort fast identisch, obwohl die Gülleverdünnung eine deutliche positive Wirkung auf den Ertrag der Wiesen zeigte. Dagegen gab es am Standort Arenenberg eine Tendenz zu einem höheren Ertrag mit dem Schleppschlauch verglichen mit dem Breitverteiler (+6,8 %). Der Unterschied war jedoch an der Grenze der statistischen Signifikanz ($p = 0,063$), obwohl die Verfahren auch auf Grasreinbeständen angewendet wurden, die Unterschiede in der Stickstoffverfügbarkeit

deutlich anzeigen. Die kombinierte Auswertung in- und ausländischer Versuche zeigte mittlere Mehrerträge von Graslandbeständen von 2,5 % (Schleppschlauch), 5,8 % (Schleppschuh) und 7,5 % (Injektion). Die bei emissionsarmer Ausbringung zusätzlich in den Boden gelangende N-Menge ist klein gegenüber derjenigen, die in intensiv bewirtschaftetem Grasland den Pflanzen verfügbar ist. Dementsprechend wurde in mehr als der Hälfte der zusammengefassten Beobachtungen – wie auch im Versuch am Standort Tänikon – kein Ertragsunterschied zwischen Schleppschlauch und Breitverteiler gemessen. Diese Ergebnisse zeigen, dass nur ein kleiner Ertragsvorteil im Bereich von wenigen Prozenten mit Schleppschlauch- im Vergleich zum Breitverteilereinsatz erwartet werden kann. Dieser Ertragsvorteil ist unbeständig und in den einzelnen Feldversuchen statistisch nur schwer nachweisbar. Die Schweizer sowie viele der ausländischen Versuche zu diesem Thema waren relativ kurzfristig. Im längerfristigen, achtjährigen Versuch von Neff (2011) entsprach der Ertragsunterschied zwischen Schleppschlauch und Breitverteiler im Durchschnitt der

Jahre dem hier ermittelten Mehrertrag über alle Versuche (+3,3 %, statistisch nicht signifikant). Weitere Langzeitversuche wären notwendig, um eine Schlussfolgerung über den Langzeit-Ertragsunterschied zwischen Gülleausbringtechniken zu ziehen.

Zum Effekt der Ausbringtechnik auf die potenziellen Verlustpfade des nicht als NH_3 emittierten Gülle-N ist der Wissensstand in der Literatur noch ungenügend. Nach aktuellem Wissensstand nehmen Auswaschungs- und Denitrifikationsverluste durch emissionsmindernde Ausbringtechniken nicht so stark zu, dass damit das Fehlen eines Mehrertrags bei emissionsmindernden Ausbringtechniken im Vergleich zu einer Breitverteilung erklärt werden könnte. Jedoch bestehen noch grosse Wissenslücken bezüglich der Bindung des mit emissionsarmer Ausbringtechnik weniger emittierten N im Boden sowie bezüglich der Effekte der emissionsarmen Ausbringtechnik auf die Dynamik des organischen Gülle-N im Boden; diese Gülle-N-Fraktion entspricht je nach Tierart bis ungefähr der Hälfte des mit der Gülle ausgebrachten Gesamt-N. ■

Literatur

- Aeby P., Andrey C., Mattei G., Kupper T. & Reidy B., 2017. Auswirkungen auf die Ammoniak-Verluste und den Ertrag von Wiesen. *UFA-Revue* **10**, 22–24.
- BAFU & BLW 2016. Umweltziele Landwirtschaft. Statusbericht 2016. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 1633, 114 S.
- Berendonk C., 2011. Einfluss der Gülleapplikationstechnik auf die Stickstoffwirkung von Rindergülle an vier Standorten in Nordrhein-Westfalen. Gülle 11: Gülle- und Gärrestdüngung auf Grünland, Internationale Tagung im Kloster Reute (D). S. 86–90.
- Bittman S., Dedina M., Howard C.M., Oenema O., Sutton M.A. (Eds.), 2014. Options for Ammonia Mitigation: Guidance from the UNECE Task Force on Reactive Nitrogen, Centre for Ecology and Hydrology, Edinburgh, UK.
- Bourdin F., Sakrabani R., Kibblewhite M.G. & Lanigan G.J., 2014. Effect of slurry dry matter content, application technique and timing on emissions of ammonia and greenhouse gas from cattle slurry applied to grassland soils in Ireland. *Agric. Ecosyst. Environ.* **188**, 122–133.
- Braun J., Mooshammer M., Wanek W., Prommer J., Walker T.W.N., Rütting T. & Richter A., 2018. Full ¹⁵N tracer accounting to revisit major assumptions of ¹⁵N isotope pool dilution approaches for gross nitrogen mineralization. *Soil Biol. Biochem.* **117**, 16–26.
- Chantigny M.H., Angers D.A., Morvan T. & Pomar C., 2004. Dynamics of pig slurry nitrogen in soil and plant as determined with ¹⁵N. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **68**, 637–643.
- Ellis S., Yamulki S., Dixon E., Harrison R. & Jarvis S.C., 1998. Denitrification and N₂O emissions from a UK pasture soil following the early spring application of cattle slurry and mineral fertiliser. *Plant Soil* **202**, 15–25.
- Fornara D.A., Wasson E.-A., Christie P. & Watson C.J., 2016. Long-term nutrient fertilization and the carbon balance of permanent grassland: any evidence for sustainable intensification? *Biogeosciences* **13**, 4975–4984.
- Frick R. & Menzi H., 1997. Hofdüngeranwendung: Wie Ammoniakverluste vermindern? FAT-Bericht 496, Eidg. Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik.
- Hafner S. et al., 2018. The ALFAM2 database on ammonia emission from field-applied manure: Description and illustrative analysis. *Agric. For. Meteorol.* **258**, 66–79.
- Häni C., Sintermann J., Kupper T., Jocher M. & Neftel A., 2016. Ammonia emission after slurry application to grassland in Switzerland. *Atmos. Environ.* **125**, 92–99.
- Hoekstra N.J., Lalor S.T.J., Richards K.G., O’Hea N., Dungait J.A.J., Schulte R.P.O. & Schmidt O., 2011. The fate of slurry-N fractions in herbage and soil during two growing seasons following application. *Plant Soil* **342**, 83–96.
- Hoekstra N.J., Lalor S.T.J., Richards K.G., O’Hea N., Lanigan G.J., Dyckmans J., Schulte R.P.O. & Schmidt O., 2010. Slurry ¹⁵NH₄-N recovery in herbage and soil: effects of application method and timing. *Plant Soil* **330**, 357–368.
- Jensen L.S., Perderson I.S., Hansen T.B. & Nielsen N.E., 2000. Turnover and fate of ¹⁵N-labelled cattle slurry ammonium-N applied in the autumn to winter wheat. *Europ. J. Agron.* **12**, 23–35.
- Kayser M., Breitsamer L., Benke M. & Isselstein J., 2015. Nitrate leaching is not controlled by the slurry application technique in productive grassland on organic-sandy soil. *Agron. Sustain. Dev.* **35**, 213–223.
- Kiefer J., Zeller A., Kunz H.G. & Elsäßer M., 2004. Auswirkungen der Gülleausbringungstechnik auf den Grünlandertrag. 48. Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft für Grünland und Futterbau, Ettelbrück (L). S. 31–34.
- Kunz H.G., 2011. Vergleich von Injektor und Prallkopfverteiler bei der Ausbringung von Rindergülle auf Ertrag und botanische Zusammensetzung von Grünland. Gülle 11: Gülle- und Gärrestdüngung auf Grünland, Internationale Tagung im Kloster Reute (D). S. 106–110.
- Kupper T., Bonjour C. & Menzi H., 2015. Evolution of farm and manure management and their influence on ammonia emissions from agriculture in Switzerland between 1990 and 2010. *Atmos. Environ.* **103**, 215–221.
- Kupper T. & Menzi H., 2013. Technische Parameter Modell Agrammon. Berner Fachhochschule, Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften HAFL. www.agrammon.ch/assets/Downloads/Technische-Parameter-20130814.pdf.
- Lalor S.T.J., Schröder J.J., Lantinga E.A., Oenema O., Kirwan L. & Schulte R.P.O., 2011. Nitrogen fertilizer replacement value of cattle slurry in grassland as affected by method and timing of application. *J. Environ. Qual.* **40**, 362–373.
- Latsch A., Nyfeler D., Huguenin-Elie O., Wyss U. & Anken T., 2015. Gülle-Applikationstechnik in Grasland: Einfluss auf Ertrag, Stickstoffwirksamkeit, Pflanzenbestand und Futterhygiene. Abschlussbericht z. Hd. Bundesamt für Landwirtschaft (BLW), Bern.
- Lorenz F. & Steffens G., 1996. Entwicklung und Überprüfung von Techniken zur Gülleausbringung auf Grünland mit geringer Ammoniak- und Geruchsfreisetzung, geringer Nitratauswaschung und guter Ertragswirkung. Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt (LUFA) der Landwirtschaftskammer Weser-Ems, Oldenburg. 94 S.
- Maag M. & Vinther F.P., 1999. Effect of temperature and water on gaseous emissions from soils treated with animal slurry. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **63**, 858–865.
- Misselbrook T.H., Smith K.A., Johnson R.A. & Pain B.F., 2002. Slurry application techniques to reduce ammonia emissions: results of some UK field-scale experiments. *Biosyst. Eng.* **81**, 313–321.
- Müller C., Laughlin R.J., Christie P. & Watson C.J., 2011. Effects of repeated fertilizer and cattle slurry applications over 38 years on N dynamics in a temperate grassland soil. *Soil Biol. Biochem.* **43**, 1362–1371.
- Neff R., 2011. Narbenbelastung durch bodennahe Gülleausbringung. Gülle 11: Gülle- und Gärrestdüngung auf Grünland, Internationale Tagung im Kloster Reute (D). S. 172–173.
- Nyfeler D., Huguenin-Elie O., Suter M., Frossard E., Connolly J. & Lüscher A., 2009. Strong mixture effects among four species in fertilized agricultural grassland led to persistent and consistent transgressive overyielding. *J. Appl. Ecol.* **46**, 683–691.
- Prasuhn V., Spiess E. & Humphrys C., 2013. Nitratauswaschung unter intensiv und extensiv genutztem Grünland. In: 15. Gumpensteiner Lysimetertagung «Lysimeterforschung als Bestandteil der Entscheidungsfindung». 16.–17. April, Ed. LFZ, Raumberg-Gumpenstein (A), 161–164.
- Richner W., Fleisch R., Mayer J., Schlegel P., Zähler M. & Menzi H., 2017. 4/ Eigenschaften und Anwendung von Düngern. *Agrarforschung Schweiz* **8** (6), 4/1–4/24.
- Senbayram M., Chen R., Wienforth B., Herrmann A., Kage H., Mühlhling K.H. & Dittert K., 2014. Emission of N₂O from biogas crop production systems in Northern Germany. *BioEnergy Research* **7**, 1223–1236.
- Shah G.M., Rashid M.I., Shah G.A., Groot J.C.J. & Lantinga E.A., 2013. Mineralization and herbage recovery of animal manure nitrogen after application to various soil types. *Plant Soil* **365**, 69–79.
- Sogaard, H.T., Sommer, S.G., Hutchings, N.J., Huijsmans, J.F.M., Bussink, D.W., Nicholson, F., 2002. Ammonia volatilization from field-applied animal slurry – the ALFAM model. *Atmos. Environ.* **36** (20), 3309–3319.
- UNECE, 2014. Guidance Document for Preventing and Abating Ammonia Emissions from Agricultural Sources: Paper ECE/EB.AIR/120. United Nations Economic Commission for Europe (UNECE). Switzerland, Geneva.
- Webb J., Pain B.F., Bittman S. & Morgan J., 2010. The impacts of manure application methods on emissions of ammonia, nitrous oxide and on crop response – a review. *Agric. Ecosyst. Environ.* **137** (1–2), 39–46.
- Whitehead D.C., 2000. Nutrient elements in grassland: Soil-plant-animal relationships. CAB International.
- Wulf S., Maeting M. & Clemens J., 2002. Application technique and slurry co-fermentation effects on ammonia, nitrous oxide, and methane emissions after spreading: II. Greenhouse gas emissions. *J. Environ. Qual.* **31**, 1795–1801.
- Wyss U., Latsch A. & Nyfeler D., 2017. Einfluss der Gülle-Applikationstechnik auf die Silagequalität. *Agrarforschung Schweiz* **8** (4), 134–141.
- Zhu K., Bruun S., Larsen M., Glud R.N. & Jensen L.S., 2015. Heterogeneity of O₂ dynamics in soil amended with animal manure and implications for greenhouse gas emissions. *Soil Biol. Biochem.* **84**, 96–106.

Riassunto**Influenza della tecnica di applicazione dei liquami sulla resa e sui flussi di azoto nelle superfici inerbite**

Durante ogni distribuzione di liquami in cui si utilizzano tubi flessibili a strascico o tubi semirigidi con solcatore giungono nel suolo 2–3 kg di azoto in più per ettaro rispetto alla barra, poiché fuoriesce dal 30 al 50 per cento in meno di ammoniaca. Ciò è quanto risulta dalle serie di misurazioni effettuate in Svizzera in stagioni diverse e dalla letteratura in materia. In un test sul campo di due anni e mezzo non è stata rilevata nel primo sito nessuna differenza a livello della resa tra la distribuzione tramite tubi flessibili a strascico e la barra. La diluizione dei liquami ha determinato invece un incremento della resa. Nel secondo sito di questo test si è osservata una resa totale tendenzialmente più elevata con i tubi flessibili a strascico rispetto alla barra ($p=0,063$). Un'analisi complessiva dei test, nazionali ed esteri, sulla distribuzione evidenzia rese medie maggiori delle superfici inerbite, rispettivamente del 2,5 per cento con tubi flessibili a strascico e del 5,8 per cento con tubi semirigidi con solcatore, rispetto alla barra. Per quanto riguarda le categorie di perdite dell'azoto che giunge nel suolo grazie alla tecnica di riduzione delle emissioni, lo stato attuale delle conoscenze non è sufficiente. Le perdite dovute a dilavamento e le perdite di denitrificazione non aumentano in modo così determinante stando allo stato attuale delle conoscenze da lasciare ipotizzare una riduzione della valorizzazione dell'azoto. Il modo in cui la tecnica di distribuzione influisce sulla dinamica dell'azoto organico nel suolo, è un oggetto di ricerca ancora completamente inesplorato.

Summary**Influence of slurry application technique on yield and nitrogen flows in grassland**

Measurement series carried out in Switzerland during different seasons as well as an overview of the literature show that with the use of a trailing hose spreader or trailing shoe spreader, 2–3 kg more nitrogen per hectare ends up in the soil per instance of slurry-spreading than with a broadcast spreader, owing to the escape of 30–50 % less ammonia. In a two-and-a-half-year field trial, no difference was noted in yield on the first site between slurry application by trailing hose and broadcast application. By contrast, dilution of the slurry led to an increase in yield. On the second site where this trial was conducted, total yield tended to be higher with trailing hose application than with broadcast application ($p=0.063$). A summary analysis of Swiss and European trials of slurry application techniques shows average additional yields for grassland stands of 2.5 % with trailing hose applications and 5.8 % with trailing shoe applications compared to broadcast applications. The current state of knowledge concerning the losses of the nitrogen which additionally enters the soil thanks to the emission-mitigation application technologies remains very patchy. To the best of our current knowledge, leaching and denitrification losses do not increase to such a great extent that a reduction in the yield effect of the applied nitrogen is to be expected. The way in which slurry-spreading technologies influence the dynamics of organic nitrogen in the soil remains wholly unexplored at present.

Key words: ammonia losses, grassland yield, nitrogen, slurry, trailing-hose spreader.