

Separierung von Gülle und ihr Einfluss auf Ammoniakemissionen

Séparation du lisier et son impact sur les émissions d'ammoniac

Slurry separation and its effect on ammonia emissions

Bericht auf Deutsch mit Zusammenfassung auf Französisch und Englisch
Rapport en allemand avec résumé en français
Report in German with summary in English

**Im Auftrag des Bundesamts für Umwelt (BAFU),
Abteilung Luftreinhaltung und Chemikalien, Sektion Luftqualität,
3003 Bern**

Thomas Kupper

Berner Fachhochschule

Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften

März 2015

Inhalt

<i>Zusammenfassung</i>	4
<i>Résumé</i>	5
<i>Abstract</i>	6
1. Ausgangslage und Zielsetzung	7
2. Literaturrecherche	8
2.1 Techniken zur Separierung von Gülle	8
2.2 Übersicht zu den Versuchsanlagen der Untersuchungen	9
2.3 Lagerung von Gülle und Feststoffen.....	11
2.3.1 Ammoniak	11
2.3.2 Treibhausgase.....	13
2.4 Ausbringung von Gülle und Feststoffen.....	14
2.4.1 Ammoniak	14
2.4.2 Treibhausgase.....	14
2.5 Ausbringung von Dünngülle.....	15
2.5.1 Ammoniak	15
2.5.2 Treibhausgase.....	15
2.6 Summe Lager und Ausbringung von Gülle und Feststoffen.....	17
2.6.1 Ammoniak	17
2.6.2 Treibhausgase.....	18
2.7 Emissionsmindernde Massnahmen.....	19
2.8 Auswirkungen auf Erträge und N-Effizienz.....	19
2.9 Diskussion der Resultate der Literaturstudie	19
3. Erhebung der Praxis der Separierung in der Schweiz:.....	20
3.1 Vorgehen.....	20
3.1.1 Umfrage bei Herstellern/Verkäufern von Gülleseparatoren	20
3.1.2 Umfrage bei Betrieben mit Gülleseparatoren	20
3.2 Resultate	21
3.2.1 Umfrage bei Herstellern/Verkäufern von Gülleseparatoren	21
3.2.2 Umfrage bei Betrieben mit Gülleseparatoren	21
4. Schätzung der N-Flüsse und Ammoniakemissionen bei Separierung	31
4.1 Grundlagen und Vorgehen.....	31
4.2 Resultate	32
5. Schlussfolgerungen.....	34
5.1 Kenntnisstand	34
5.2 Forschungsbedarf	35
6. Literatur.....	36
7. Verdankungen	38
Anhang 1	39

Hinweis: Diese Studie wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

Zusammenfassung

In der vorliegenden Untersuchung wurde geprüft, ob die Separierung von Gülle in der Schweiz zur Reduktion der Emissionen von Ammoniak und/oder Treibhausgasen beiträgt. Die Studie beinhaltet (i) die Zusammenfassung des Stands der Kenntnisse hinsichtlich Emissionsminderung mittels Separierung von Gülle basierend auf einer Literaturrecherche, (ii) die Erhebung der Praxis der Gülleseparierung in der Schweiz aufgrund einer Befragung von Betrieben, (iii) die Modellierung von Stickstoffflüssen und Ammoniakemissionen für Betriebe der Schweiz mit Separierung, (iv) eine Beurteilung der Emissionssituation und des Potentials zur Emissionsminderung sowie (v) die Abklärung des Forschungsbedarfs im Zusammenhang mit der Separierung von Gülle. Die Arbeiten beschränken sich auf die Separierung und schliessen weiter gehende Verfahren wie Ultrafiltration oder Umkehrosmose nicht ein.

Aufgrund der Daten aus der Literatur lassen sich hinsichtlich Emissionsminderung von Ammoniak und Treibhausgasen keine eindeutigen Tendenzen ableiten. In drei Studien, welche die Kette Lagerung und Ausbringung im Pilotmassstab untersucht haben, führte die Separierung zu tendenziell höheren Ammoniakemissionen als unbehandelte Gülle. bei Treibhausgasen ausgedrückt als CO₂ Äquivalente sind unterschiedliche Resultate vorhanden. Als gesichert erscheint eine Emissionsminderung für Ammoniak bei Ausbringung von Dünngülle im Vergleich zu unbehandelter Gülle und Mehremissionen während der Lagerung, wenn die Feststoffe kompostiert werden.

In der Schweiz sind auf landwirtschaftlichen Betrieben rund 100 Separatoren im Einsatz. Von den 22 Befragten setzen 21 eine Schraubenpresse ein. Betriebe, welche Gülle separieren, weisen eine überdurchschnittliche Grösse auf. Die wichtigsten Gründe zur Anwendung der Gülleseparierung sind die bessere Handhabung der Gülle beim Ausbringen (v.a. mittels Schleppschlauch) und die Gewinnung der Feststoffe zur Verwendung als Einstreue.

Modellrechnungen, welche die Produktionstechnik im Zusammenhang mit der Separierung in der Schweiz berücksichtigen, führen bei Verwendung der Feststoffe als Einstreue oder Kompostierung der Feststoffe zu Mehremissionen. Separierung von Schweinegülle zeigt im Vergleich zu Rindviehgülle relativ höhere Mehremissionen. Ein Vorteil resultiert für die Separierung, wenn der Einsatz eines Schleppschlauchverteilers nur nach Separierung der Gülle, nicht aber für die unbehandelte Gülle möglich ist.

Insgesamt dürfte die Gülleseparierung die gesamtschweizerische Menge von Ammoniakemissionen kaum beeinflussen. In verschiedenen europäischen Ländern wird die Gülleseparierung wie praktiziert in der Schweiz seitens Behörden und Experten nicht als emissionsmindernde Massnahme betrachtet.

Résumé

La présente étude a examiné si la séparation du lisier contribue à la diminution des émissions d'ammoniac et/ou des gaz à effet de serre. Elle comprend (i) un aperçu de l'état actuel des connaissances concernant la séparation du lisier basé sur une étude bibliographique, (ii) un relevé de la pratique de la séparation du lisier en Suisse par le biais d'une enquête menée auprès des exploitants, (iii) la modélisation des flux d'azote et des émissions d'ammoniac pour des exploitations suisses pratiquant la séparation du lisier, (iv) l'évaluation des émissions et du potentiel de réduction ainsi que (v) l'identification des besoins en termes de recherche dans le domaine de la séparation du lisier. L'étude se focalise sur la séparation et exclue des processus supplémentaires tels que l'ultrafiltration ou l'osmose inverse.

Les données de la littérature ne permettent pas à établir des tendances claires concernant la réduction des émissions d'ammoniac et des gaz à effet de serre. Trois études qui ont examiné la chaîne stockage et épandage à l'échelle pilote ont trouvé des émissions d'ammoniac légèrement supérieure pour la séparation à comparer au lisier non traité. Les investigations sur les effets à gaz de serre ont montré des résultats contradictoires. Cependant, une réduction des émissions d'ammoniac après l'épandage du lisier séparé à comparer au lisier non traité et des émissions plus élevées pendant le stockage si la phase solide est compostée semblent être établies.

En Suisse, une centaine de séparateurs sont en service sur des exploitations agricoles. Parmi les 22 exploitants interrogés 21 en utilisent une presse à vis. Les exploitations pratiquant la séparation du lisier ont une taille supérieure à la moyenne. Les raisons prioritaires pour l'application de cette technologie est la gestion avantageuse lors de l'épandage du lisier notamment si une rampe à pendillard est utilisée et la production de solides pour utiliser comme litière.

Des modélisations qui englobent les techniques de production en Suisse liées à la séparation du lisier ont montré une augmentation des émissions si la phase solide est utilisée comme litière ou si elle est compostée. La séparation du lisier de porcs tend à produire des excès en émissions relative au lisier de bovins. Un avantage concernant les émissions se manifeste si une rampe à pendillard est applicable pour le lisier séparé contrairement au lisier non traité.

En somme, la contribution de la séparation du lisier aux émissions d'ammoniac suisses est négligeable. Cette technologie comme appliquée en Suisse n'est pas considérée comme mesure limitant les émissions par les autorités et les experts.

Abstract

The present study investigated the contribution of slurry separation regarding emission mitigation for ammonia and greenhouse gases in Switzerland. It includes (i) a compilation of the state of knowledge on emission reduction due to slurry separation by means of a literature review, (ii) an investigation on the application of slurry separation in Switzerland based on a survey among farms, (iii) modelling of nitrogen flows and ammonia emissions for Swiss farms operating a separator, (iv) an evaluation of the emissions and the potential of emission mitigation and (v) an evaluation of the need for further research works related to slurry separation. The study focused on slurry separation and did not include further processes such as ultrafiltration or reverse osmosis.

No clear trends arose from the literature regarding emission mitigation of ammonia and greenhouse gases. Three studies carried out at a pilot scale investigating the entire chain of storage and field application showed slightly higher ammonia emissions for slurry separation as compared to untreated slurry. Results on greenhouse gases given as CO₂ equivalents were ambiguous. However, the major part of the studies demonstrated that a reduction of ammonia emissions for field spreading of the liquid fraction as compared to the untreated slurry and an emission increase during storage of the solid fraction composted occurs.

In Switzerland, about 100 separators are operated at farms. Among the 22 farms studied, 21 used a screw press. Farms operating slurry separation were larger in size than average farms. The most important reasons for slurry separation is the better handling of slurry when applied with a trailing hose and the production of solids to be used as bedding material.

Model calculations related to the application of slurry separation in Switzerland showed an increase of ammonia emissions if the solids are used as bedding material or if they are composted. Pig slurry tends to produce a higher excess in emissions than cattle slurry. An emission reduction can be achieved if the application of slurry with band spreading is only possible for separated slurry but not for untreated slurry.

Overall, slurry separation hardly influences the Swiss emission level for ammonia and slurry separation as operated in Switzerland is not considered as an emission mitigation measure among regulators and experts in Europe.

1. Ausgangslage und Zielsetzung

Die Separierung von Gülle ist in der Schweiz eine relativ neue Technologie. Sie wurde zuerst in Regionen mit hoher Tierdichte eingeführt. Die flüssige Fraktion (Dünngülle) verblieb auf dem eigenen Betrieb und die feste Fraktion wurde zwecks Vermeidung von Nährstoffüberschüssen weggeführt. Inwieweit die Separierung zur Reduktion der Emissionen von Ammoniak und/oder Treibhausgasen beiträgt und als emissionsmindernde Massnahme (z.B. im Rahmen von Emissionsberechnungen) anerkannt werden sollte, wird kontrovers diskutiert. Verschiedene Studien belegten eine Emissionsreduktion nach Ausbringung der flüssigen Fraktion im Vergleich zur unbehandelten Gülle. Studien, welche die Emissionen der flüssigen und festen Fraktion während Lagerung und Ausbringung untersucht haben, sind aber nur vereinzelt verfügbar. Weiter liegen nur wenig gesicherte Kenntnisse zur Praxis hinsichtlich Lagerung und Verwendung von separierter Gülle und der Feststoffe in der Schweiz vor. Demnach fehlt momentan eine fundierte Grundlage, um ein allfälliges Potential der Separierung bezüglich Minderung von Ammoniakemissionen beurteilen zu können.

Aufgrund dieser Ausgangslage wurde die vorliegende Studie mit folgender Zielsetzung durchgeführt:

1. Erhebung des Stands der Kenntnisse hinsichtlich Minderung der Emissionen von Ammoniak mittels Separierung von Gülle basierend auf einer Literaturrecherche und Befragung von Experten. In der Literaturrecherche wurden die Treibhausgase mitberücksichtigt.
2. Erhebung häufig vorkommender Verfahren zur Separierung sowie Praxis der Lagerung und Ausbringung der Produkte der Separierung in der Schweiz mittels Befragungen und Besichtigung von ausgewählten Praxisbetrieben. Bezeichnung der Emissionsquellen im gesamten System.
3. Modellierung der Stickstoffflüsse und der Verteilung von Stickstoff in die feste und flüssige Fraktion nach der Separierung von Gülle anhand von Fallbeispielen aus der Praxis.
4. Synthese aus den Punkten 1 bis 3 und qualitative Beurteilung der Emissionssituation/Potential zur Emissionsminderung im Zusammenhang mit der Separierung von Gülle.
5. Abklären des Forschungsbedarfs hinsichtlich Emissionen von Ammoniak sowie Erarbeiten von Vorschlägen für Untersuchungen.

Die Arbeiten beschränken sich auf die Separierung (d.h. fest-flüssig Trennung mittels Schraubepresse, Zentrifuge u.ä.) bzw. die Produkte der Separierung und schliessen weitere gehende Verfahren wie Ultrafiltration oder Umkehrosmose bzw. darauf basierende Produkte nicht ein.

2. Literaturrecherche

2.1 Techniken zur Separierung von Gülle

Zu fest-flüssig Trennung von Gülle gibt es folgende Verfahren (Hjorth et al., 2010): Eindickung bzw. Sedimentation, Bandpresse, Zentrifuge und Schraubenpresse. In der Praxis sind die beiden letzten Verfahren international am weitesten verbreitet. Die Effizienz des Verfahrens hinsichtlich Separierung wird mit dem Separierungsindex charakterisiert. Er ist wie folgt definiert (i) (Hjorth et al., 2010):

$$Et(x) = \frac{m_{x,FS}}{m_{x,uG}} \quad (i)$$

wobei $Et(x)$ den Separierungsindex für eine Substanz x , $m_{x,FS}$ deren Masse (in g) in der festen Phase und $m_{x,uG}$ deren Masse in der unbehandelten Gülle bezeichnen. Je grösser der Separierungsindex $Et(x)$ desto grösser ist der Anteil der Substanz x in der festen Phase bzw. desto höher ist die Effizienz der Separierung.

In Tabelle 1 sind Separierungsindices bei Anwendung von Zentrifuge und Schraubenpresse für Volumen, Trockensubstanz (TS), Gesamtstickstoff (N_{tot}), Ammonium Stickstoff (NH_4-N) und Phosphor (P) aufgeführt. Die Separierung mittels Zentrifuge ist generell effizienter. Bei ähnlich grossen Volumenanteil der festen Phase werden rund doppelt so viel TS und N sowie rund 4 Mal mehr P in die feste Phase transferiert im Vergleich zur Schraubenpresse. Die Verfahren Sedimentation und Bandpresse liegen bezüglich Separierungsleistung zwischen Schraubenpresse und Zentrifuge. Generell werden Stoffe wie Ammonium, die weitgehend gelöst vorliegen, nur zu einem geringen Teil in die Feststoffe transferiert.

Tabelle 1: Separierungsindices für Separierung von Rindvieh- und Schweinegülle bei Separierung mittels Zentrifuge und Schraubenpresse (Quelle: Hjorth et al., 2010). Abkürzungen: TS: Trockensubstanz, N_{tot} : Gesamtstickstoff, NH_4-N : Ammonium Stickstoff, P: Phosphor

	Volumen	TS	N_{tot}	NH_4-N	P
Zentrifuge					
<i>n</i>	14	16	11	5	12
Mittelwert	14	61	28	16	71
Stabw	7	16	10	8	14
Min	3	44	13	7	48
Max	26	95	49	26	90
Schraubenpresse					
<i>n</i>	13	17	13	0	13
Mittelwert	11	37	15	-	17
Stabw	15	18	17	-	14
Min	2	13	4	-	3
Max	13	64	31	-	46

Gemäss Mosquera et al. (2010) ist die Zentrifuge effizienter für Schweinegülle als für Rindviehgülle, d.h. sie produziert Feststoffe mit einer höheren Nährstoffkonzentration. Dasselbe trifft auch für die Schraubenpresse zu, wenn auch weniger ausgeprägt. Die Eigenschaften der flüssigen und festen Phase nach Separierung im Verhältnis zur unbehandelten Gülle sind in Tabelle 2 dargestellt (Mosquera et al., 2010).

In der festen Phase findet eine Anreicherung von TS, OS (organische Substanz) und N_{tot} statt. Der Gehalt von TAN (Total Ammoniacal Nitrogen = Summe von Ammonium und gelöstem Ammoniak) bleibt in etwa gleich, nimmt tendenziell ab für Schweinegülle und eher zu für Rindviehgülle. Der pH Wert verändert sich kaum. Die flüssige Phase weist im Vergleich zur unbehandelten Gülle niedri-

gere Gehalte für TS und OS auf. N_{tot} und TAN verändern sich kaum oder nehmen leicht ab. Wie bei der festen Phase unterscheidet sich der pH nicht von der Ausgangsgülle.

Tabelle 2: Eigenschaften der flüssigen und festen Phase nach Separierung von Rindvieh- und Schweinegülle im Vergleich zur unbehandelten Gülle (Quelle: Mosquera et al., 2010). Abkürzungen: TS: Trockensubstanz, OS: organische Substanz, N_{tot} : Gesamtstickstoff, TAN: Total Ammoniacal Nitrogen

	TS	OS	N_{tot}	TAN	pH
Flüssige Phase	-	-	$\pm/-$	$\pm/-$	$\pm$
Feststoffe Rindviehgülle	+	+	+	$\pm/-$	$\pm$
Feststoffe Schweinegülle	+	+	+	$\pm/+$	$\pm$

2.2 Übersicht zu den Versuchsanlagen der Untersuchungen

In Tabelle 3 sind die wichtigsten Informationen zur Versuchsanlage der verfügbaren Studien über die Auswirkungen bezüglich Emissionen von Ammoniak und Treibhausgasen bei Lagerung und Ausbringung der festen und flüssigen Fraktion nach Separierung im Vergleich zu unbehandelter Gülle aufgeführt. Mit Ausnahme von zwei in Tabelle 3 aufgeführten Studien (Amon et al., 2002, 2006; Hjorth et al., 2009) wurde jeweils die feste und die flüssige Fraktion untersucht. Bei Amon et al. (2002, 2006) wurden die Feststoffe nach der Separierung kompostiert. Nach der Ausbringung der Feststoffe erfolgte keine Messung, da in früheren Untersuchungen von kompostiertem Festmist keine Emissionen messbar waren aufgrund der hohen Verluste bei der Kompostierung. Man kann demnach davon ausgehen, dass die Emissionen von Lagerung und Ausbringung in diesen Studien zumindest annäherungsweise vollständig erfasst wurden. Hjorth et al. (2009) untersuchten nur die flüssige Phase während Lagerung und Ausbringung.

In der Mehrzahl der Untersuchungen erfolgte eine Umrechnung der Emissionen im Vergleich zur unbehandelten Gülle. Demnach war ein Vergleich der Emissionen der Summe der flüssigen und festen Fraktion mit der unbehandelten Gülle unter gleichen Bedingungen möglich (vgl. letzte Spalte in Tabelle 3). Mosquera et al. (2010) wählten einen andern Ansatz. Sie simulierten die Ausbringung der festen und flüssigen Fraktion gemäss der aktuellen Praxis (flüssige Phase auf Grasland, feste Phase auf Ackerland mit Einarbeitung). Dadurch war ein direkter Vergleich mit den Emissionen von unbehandelter Gülle nicht möglich.

Die Versuche fanden überwiegend unter Laborbedingungen statt. Ausser zwei Studien (Amon et al., 2002, 2006; Dinuccio et al., 2012) wurden die Versuche zur Lagerung in Behältern mit ca. 1 L Inhalt durchgeführt. Ausbringversuche erfolgten meist auf Flächen in der Grössenordnung von 10-100 cm² im Labor bzw. in Klimakammern (Ausnahmen: Amon et al., 2002, 2006; Dinuccio et al., 2012). In den meisten Fällen kam eine Schraubenpresse für die fest-flüssig Trennung zur Anwendung. Fünf Studien (Amon et al., 2002, 2006; Dinuccio et al., 2011, 2012; Mosquera et al., 2010) untersuchten die ganze Kette Lagerung und Ausbringung der festen und flüssigen Fraktion hinsichtlich Emissionen im Vergleich zur unbehandelten Gülle.

Zusätzlich sind Studien vorhanden, welche nur die Ausbringung der flüssigen Phase im Vergleich zu unbehandelter Gülle untersuchten (Tabelle 4). Dabei wurde in der Regel nur Ammoniak gemessen. Diese fanden meist auf Versuchspartzellen im Feld statt (Messung mittels Kammersystem oder Windtunnel).

Tabelle 3: Informationen zur Versuchsanlage von Studien über Auswirkungen der fest-flüssig Trennung auf Emissionen von Ammoniak und Treibhausgasen bei Lagerung und Ausbringung der festen und flüssigen Fraktion im Vergleich zu unbehandelter Gülle. Abkürzungen: gemessene Gase: NH₃: Ammoniak; N₂O: Lachgas; CH₄: Methan; La: Lageremissionen gemessen; A: Ausbringemissionen gemessen; fl: flüssige Fraktion; fe: feste Fraktion; Umr: Umrechnung der Emissionen in Bezug auf die unbehandelte Gülle

Quelle	Fest-flüssig Trennung	NH ₃	N ₂ O	CH ₄	La	A	Versuchsanlage Lager	Versuchsanl. Ausbringung	Bemerkungen	Umr.
Amon et al. (2002, 2006)	Schraubenpresse	x	x	x	fl,fe	fl	10 m ³ Behälter, in Boden eingelassen, dynamische Kammer	40 m ³ /ha, Versuchsplots à 27 m ² pro Verfahren, dynamische Kammer	Kompostierung der Feststoffe, keine Messung der Emissionen nach der Ausbringung der Feststoffe	ja
Balsari et al. (2008)	Schraubenpresse	x			-	fl,fe	-	Versuchsplots, Luzerne, lehmiger Sand; Windtunnel (0.6 m/s)	Messung Sommer, Herbst, 40 kg N/ha, 70 kg N/ha, zusätzlich „Funnel System“ (Messung für ~0 m/s)	ja
Bertora et al. (2008)			x		-	fl,fe	-	Laborstudie (2 kg Boden), Lehm, 170 kg N ha ⁻¹ ; Gasmessung: INNOVA System über 58 Tage		
Dinuccio et al. (2008)	Laborgerät; Funktion ähnlich wie Schraubenpresse	x	x	x	fl,fe	-	Laborstudie (1 L Behälter); Gasmessung: INNOVA System	-	5°C und 25°C Lagertemperatur	ja
Dinuccio et al. (2011)	Laborgerät; Funktion ähnlich wie Schraubenpresse	x	x	x	fl,fe	fl,fe	Laborstudie (1 L Behälter); Gasmessung: INNOVA System	Lehmiger Sand, ca. 1 Liter Boden; Gasmessung: INNOVA System		ja
Dinuccio et al. (2012)	Schraubenpresse, Bandpresse (kommerzielles System)	x			fl,fe	fl,fe	Feldstudie: Lagerung in 1600 m ³ Behältern, bzw. rund 6.6 m ³ Haufen für Feststoffe; Messung: Windtunnel	Lehmiger Sand, Luzerne, 70 kg N ha ⁻¹ ; Windtunnel, Messung über 96 h		ja
Fangueiro et al. (2008)	Schraubenpresse	x	x	x	fl,fe	-	Laborstudie (125 L Behälter); Dauer ~ 3 Mt	-	Periodische Durchmischung des Lagerbehälters	ja
Hjorth et al. (2009)	Bandpresse	x			fl	fl	Laborstudie mit 30 L Behältern über 42 Tage; 14°C Lagertemperatur	Laborstudie in dynamischen Kammern, Boden (Sand), 40 m ³ /ha; Ausbringung wie Schleppschlauch; Dauer: 77 h	Laborstudie mit 30 L Behältern über 42 Tage; 14°C Lagertemperatur; unvergorene Gülle / vergorene Gülle ohne Zugabe von Flockungsmitteln; nur flüssige Fraktion berücksichtigt	-
Mosquera et al. (2010)	Zentrifuge bzw. Schraubenpresse	x	x	x	fl,fe	fl,fe	Laborstudie; 3 L (fl), 30 kg (fe)	Laborstudie; Messungen während 38 d in Behältern mit ca. 900 g Boden		nein
O'Shea et al. (2009)	Tuch	x			fl,fe	-	Messdauer 240 h		Versuchsanordnung begrenzt realitätsnah, nicht primär auf Lageremissionen ausgerichtet	ja

Tabelle 4: Informationen zur Versuchsanlage von Studien über Auswirkungen der fest-flüssig Trennung auf Emissionen von Ammoniak bei der Ausbringung der flüssigen Fraktion im Vergleich zu unbehandelter Gülle (Studien, welche in Tabelle 3 nicht aufgeführt sind)

Quelle	Fest-flüssig Trennung	Versuchsanlage
Chantigny et al. (2009)	Natürliche Sedimentation, Filtration	Schluffiger, toniger Lehm; 1 m ² Plots, Windtunnel
Gronauer (1987) zit. in Meier (1994)	-	-
Mattila, Joki-Tokola (2003)	Schraubenpresse	2 Standorte: toniger Lehm bzw. Sand; Ausbringung Breitverteiler, Schleppschlauch, Injektion Praxisgeräte; Windtunnel; 3 Tage Messdauer; Messungen über 3 Jahre
Monaco et al. (2012)	Laborzentrifuge	Laborstudie; 2 Bodentypen: Lehm, Schlufflehm; ca. 1.5 kg Boden; 90.7 kg N/ha
Nyord et al. (2012)	Bandpresse	Feldstudie Schleppschlauch, Weizen, Windtunnel
Sommer et al. (2006)	Zentrifuge	Laborstudie, Sandboden, lehmiger Sand, Ausbringung: Ausbringung der Gülle auf 20-30% der Bodenfläche (Imitation der Ausbringung mittels Schleppschlauch)
Stevens et al. (1992)*	Bandpresse	Raygras, 2.5 m ² Plots; Kammersystem, Messung während 96 h, Kammersystem
Thompson et al. (1990)	Bandpresse	Raygras, sandiger Lehm, 1 m ² Plots; Windtunnel, Messung während 6 Tagen
Vandre et al. (1997)	Tuch	Winterweizen, schluffiger Lehm, 10 m ² , verschiedene Ausbringungstechniken, Plots; indirekte Messung während 6 Tagen

* Verschiedene Kombinationen von Siebweite, Verdünnung, Beregnung nach Ausbringen, Ansäuern

2.3 Lagerung von Gülle und Feststoffen

2.3.1 Ammoniak

Zur Lagerung von Dünngülle und Feststoffen aus unvergorener Ausgangsgülle sind Resultate aus 7 Studien vorhanden (Tabelle 5). Nach der Separierung stammt in den meisten Fällen der grösste Teil der NH₃ Emissionen aus der flüssigen Fraktion. Dies erscheint als plausibel, da der grösste Teil von Ammonium in der flüssigen Phase verbleibt (Hjorth et al., 2010). Bezüglich der Emissionshöhe der flüssigen Fraktion im Vergleich zur unbehandelten Gülle zeigt sich ein uneinheitliches Bild. Bei Rindviehgülle wurden etwa gleich häufig niedrigere bzw. höhere Emissionen im Vergleich zur unbehandelten Gülle gefunden. Bei Schweinegülle emittierte die Dünngülle in den meisten Fällen vergleichsweise weniger NH₃. Niedrigere Emissionen im Vergleich zur Ausgangsgülle wurden ebenfalls bei vergorener Schweinegülle gefunden (Hjorth et al., 2009; Perazzolo et al., 2013). Die Emissionsminderung war in der Studie von Hjorth et al. (2009) geringer bei vergorener Gülle im Vergleich zu unbehandelter Gülle. Die Emissionsminderung, soweit vorhanden, ist meist gering. Die Differenz zwischen Dünngülle und Referenz beträgt meist weniger als 30 %.

Als Ursachen für Emissionsänderungen kommen in Frage:

- Abnahme des TS und verminderte Bildung einer Schwimmschicht, welche emissionsmindernd wirkt. Dies dürfte vor allem bei Rindviehgülle relevant sein.
- Änderung des pH Werts. Ob sich dessen Verlauf in unbehandelter Gülle und von demjenigen der flüssigen Fraktion unterscheidet, geht aus der Literatur nicht klar hervor (Popovic, Jensen, 2012).

Aus verschiedenen Untersuchungen sind Daten zu den Emissionen aus der festen Fraktion verfügbar. Für Ammoniak sind die Emissionen bei allen Studien niedriger als diejenigen der unbehandelten Gülle. Ausgenommen davon sind Studien, bei welchen die feste Fraktion kompostiert (Amon et al., 2002, 2006) oder aufgrund der Rotte erwärmt wurde (Dinuccio et al., 2011). Einige

Untersuchungen berücksichtigten ausschliesslich die feste Fraktion der Separierung. Petersen und Sorensen (2008) fanden hohe Verluste von Ammonium N, N_{tot} und C während der Lagerung der festen Fraktion von vergorener Schweinegülle (30-90 % von NH_4^+ , 10-55 % von N_{tot} ; 35-70 % von C). Die Verluste basieren auf Bilanzrechnungen und nicht auf Emissionsmessungen. Hansen et al. (2006) fanden Verluste von 15 % des ursprünglich vorhandenen N_{tot} in der festen Fraktion von separierter vergorener Schweinegülle (Separierung mittels Zentrifuge) nach vier Monaten Lagerung. Die Emissionen betrugen für NH_3 0.3 % und für N_2O 4.8 %. Die verbleibenden, nicht wiedergefunden 9.6 % N_{tot} wurden Verlusten in Form von elementarem Stickstoff zugeordnet.

Tabelle 5: Anteil der Emissionen von Ammoniak (NH_3) bei der Lagerung der flüssigen und festen Fraktion nach der Separierung von Gülle sowie die Emissionen der Lagerung der flüssigen Fraktion, der festen Fraktion sowie des Totals der flüssigen und festen Fraktion im Vergleich zur unbehandelten Gülle in Prozent

Gületyp	Emissionen flüssige Fraktion %	Emissionen feste Fraktion %	Flüssige Fraktion in % unbehandelt	Feste Fraktion in % unbehandelt	Total in % unbehandelt	Verfahren*	Quelle
Rindvieh	12%	88%	96%	702%	798%	Kompostierung Feststoffe	Amon et al. (2006)
	88%	12%	94%	13%	107%	Lagerung 25 °C	Dinuccio et al. (2008)
	70%	30%	102%	43%	145%	Lagerung 5 °C	Dinuccio et al. (2008)
	51%	49%	125%	121%	246%	-	Dinuccio et al. (2011)
	86%	14%	171%	27%	198%	-	Fangueiro et al. (2008)
	82%	18%	87%	19%	106%	Zentrifuge	Mosquera et al. (2010)
	84%	16%	127%	25%	151%	Schraubenpresse	Mosquera et al. (2010)
Schwein	27%	73%	46%	126%	172%	Kompostierung Feststoffe	Amon et al. (2002)
	96%	4%	90%	4%	94%	Lagerung 25 °C	Dinuccio et al. (2008)
	87%	13%	86%	13%	99%	Lagerung 5 °C	Dinuccio et al. (2008)
	57%	43%	93%	71%	164%	Winter	Dinuccio et al. (2012)
	58%	42%	76%	55%	131%	Sommer	Dinuccio et al. (2012)
	91%	9%	92%	9%	101%	Zentrifuge	Mosquera et al. (2010)
	71%	29%	123%	51%	174%	Schraubenpresse	Mosquera et al. (2010)
	62%	38%	55%	34%	89%	-	O'Shea et al. (2009)
	-	-	67%	-	-		Hjorth et al. (2009)
Schwein vergoren	51%	49%	89%	85%	89%	-	Perazzolo et al. (2013)
	-	-	76%	-	-	Bandpresse (Laborgerät)	Hjorth et al. (2009)

Wird die Summe der flüssigen und die festen Fraktion betrachtet, resultieren für Rindviehgülle bei allen Studien höhere Emissionen im Vergleich zur Referenz. Bei Schweinegülle zeigen drei Studien eine leichte Emissionsminderung (Dinuccio et al., 2008, Perazzolo et al., 2013; O'Shea et al., 2009) und zwei Untersuchungen beobachteten eine mehr oder weniger deutliche Zunahme der Emissionen (Dinuccio et al., 2012; Mosquera et al., 2010). Die Resultate von Mosquera et al. (2010) weisen darauf hin, dass die Technologie der Separierung eine Rolle spielt. Sowohl bei Rindvieh- als auch bei Schweinegülle unterscheiden sich die Emissionen des Totals der festen und flüssigen Fraktion nach Separierung mittels Zentrifuge kaum von der unbehandelten Gülle. Im Gegensatz dazu resultieren bei Verwendung einer Schraubenpresse höhere Emissionen. Dies könnte auf die höhere Abscheidung von TAN aus der Gülle bzw. den höheren Transfer von TAN in die feste Phase bei der Separierung mittels Zentrifuge im Vergleich zu den übrigen Technologien zurückzuführen sein. Trennung mittels Zentrifuge erfolgte nur in der Studie von Mosquera et al. (2010).

Dinuccio et al. (2008) fanden eine relativ tiefere Emission aus der festen und flüssigen Fraktion bei einer Lagertemperatur von 25°C im Vergleich zu 5°C.

2.3.2 Treibhausgase

Der Effekt der fest-flüssig Trennung auf die Lageremissionen von einzelnen Treibhausgasen (Tabelle 6, Tabelle 7) ist nicht eindeutig. Für Rindvieh resultierten mehrheitlich erhöhte Emissionen von N_2O und CH_4 . Für Schweine zeigten alle Untersuchungen eine Zunahme von N_2O und die meisten Studien eine Reduktion von CH_4 . Bezüglich CO_2 Äquivalente wurde von Amon et al., (2002, 2006) eine Minderung gefunden. Andere Untersuchungen zeigten eine Zunahme der CO_2 Äquivalente (Dinuccio et al., 2008, 2011; Fanguero et al., 2008) bzw. keinen Einfluss (Mosquera et al., 2010; Perazzolo et al., 2013; Daten nicht aufgeführt).

Tabelle 6: Anteil der Emissionen von Lachgas (N_2O) bei der Lagerung der flüssigen und festen Fraktion nach der Separierung von Gülle sowie die Emissionen der Lagerung der flüssigen Fraktion, der festen Fraktion sowie des Totals der flüssigen und festen Fraktion im Vergleich zur unbehandelten Gülle in Prozent

Gületyp	Emissionen flüssige Fraktion %	Emissionen feste Fraktion %	Flüssige Fraktion in % unbehandelt	Feste Fraktion in % unbehandelt	Total in % unbehandelt	Verfahren*	Quelle
Rindvieh	41%	59%	45%	65%	110%	Kompostierung Feststoffe	Amon et al. (2002, 2006)
Rindvieh	80%	20%	67%	17%	83%		Dinuccio et al. (2011)
Rindvieh	1%	99%	100%	+~Faktor 100			Fanguero et al. (2008)
Rindvieh	0%	100%	-	-	-	Zentrifuge	Mosquera et al. (2010)
Rindvieh	0%	100%	-	-	-	Schraubenpresse	Mosquera et al. (2010)
Schwein	41%	59%	67%	97%	163%	Kompostierung Feststoffe	Amon et al. (2002)
Schwein	0%	100%	-*	-	-*	Zentrifuge	Mosquera et al. (2010)
Schwein	0%	100%	-*	-	-*	Schraubenpresse	Mosquera et al. (2010)
Schwein vergoren	69%	31%	88%	471%	126%		Perazzolo et al. (2013)

* Gemessene Emissionen der unbehandelten Gülle und der flüssigen Fraktion = 0

Tabelle 7: Anteil der Emissionen von Methan (CH_4) bei der Lagerung der flüssigen und festen Fraktion nach der Separierung von Gülle sowie die Emissionen der Lagerung der flüssigen Fraktion, der festen Fraktion sowie des Totals der flüssigen und festen Fraktion im Vergleich zur unbehandelten Gülle in Prozent

Gületyp	Emissionen flüssige Fraktion %	Emissionen feste Fraktion %	Flüssige Fraktion in % unbehandelt	Feste Fraktion in % unbehandelt	Total in % unbehandelt	Verfahren*	Quelle
Rindvieh	78%	22%	45%	13%	58%	Kompostierung Feststoffe	Amon et al. (2006)
Rindvieh	87%	13%	79%	12%	91%	Lagerung 25 °C	Dinuccio et al. (2008)
Rindvieh	74%	26%	77%	27%	104%	Lagerung 5 °C	Dinuccio et al. (2008)
Rindvieh	72%	28%	141%	54%	195%	-	Dinuccio et al. (2011)
Rindvieh	15%	85%	61%	347%	408%	-	Fanguero et al. (2008)
Rindvieh	100%	0%	77%	0%	77%	Zentrifuge	Mosquera et al. (2010)
Rindvieh	84%	16%	85%	16%	101%	Schraubenpresse	Mosquera et al. (2010)
Schwein	31%	69%	9%	20%	29%	Kompostierung Feststoffe	Amon et al. (2002)
Schwein	97%	3%	100%	0%	103%	Lagerung 25 °C	Dinuccio et al. (2008)
Schwein	92%	8%	85%	7%	92%	Lagerung 5 °C	Dinuccio et al. (2008)
Schwein	102%	-2%	55%	0%	5%	Zentrifuge	Mosquera et al. (2010)
Schwein	73%	27%	11%	4%	15%	Schraubenpresse	Mosquera et al. (2010)
Schwein vergoren	85%	15%	47%	132%	55%	-	Perazzolo et al. (2013)

2.4 Ausbringung von Gülle und Feststoffen

2.4.1 Ammoniak

Publikationen, welche die Ausbringung von Gülle und Feststoffen unter gleichen Bedingungen wie die unbehandelte Gülle untersucht haben, sind nur vereinzelt verfügbar (Tabelle 8). Balsari et al. (2008) fanden eine Reduktion der Summe der Emissionen der flüssigen und festen Fraktion im Vergleich zur unbehandelten Gülle von bis zu 26 %. Eine Reduktion von 12 % resultierte gemäss Dinuccio et al. (2012) unter Winterbedingungen. Im Gegensatz dazu resultierte nach Dinuccio et al. (2011) eine Erhöhung um mehr als 100 %. Die Autoren gaben an, dass die Separierung im Labormassstab zu wenig effizient war (TS Gehalt unbehandelte Gülle bzw. separierte Gülle: 7.5 % bzw. 5.1 %). Da es sich um eine Laborstudie handelte (Durchführung in Klimakammer, Bodenvolumen: 1 L) und die flüssige Fraktion allein mehr Ammoniak emittierte als die unbehandelte Gülle (vgl. Kap. 2.5), müssen diese Resultate kritisch hinterfragt werden. Die Daten von Dinuccio et al. (2012), berechnet aus der Ausbringung von Sommer und Winter, weisen darauf hin, dass die Emissionen aus der festen und der flüssigen Fraktion erhöht sein können.

Amon et al. (2002, 2006) führten keine Messung der Emissionen nach Ausbringung der kompostierten, festen Fraktion durch, da frühere Messungen gezeigt hatten, dass aus kompostiertem Mist keine gasförmigen N-Verbindungen freigesetzt werden. Mosquera et al. (2010) untersuchten ebenfalls Emissionen aus der flüssigen und der festen Fraktion im Vergleich zur unbehandelten Gülle. Allerdings erfolgte die Ausbringung nicht unter vergleichbaren Bedingungen, sondern gemäss aktueller Praxis in den Niederlanden, d.h. Ausbringung der unbehandelten Gülle und der Dünggülle auf Grasland, Ausbringen der festen Fraktion auf Ackerland mit Einarbeitung. Ein direkter Vergleich der Emissionen der flüssigen und der festen Fraktion mit der unbehandelten Gülle ist daher nicht möglich.

Hinsichtlich Emissionen aus Dünggülle im Vergleich zu unbehandelter Gülle liegen deutlich mehr Untersuchungen vor. Diese werden separat in Kap. 2.5 zusammengefasst.

Tabelle 8: Emissionsminderung bezüglich Ammoniak bei der Ausbringung der flüssigen Fraktion und der festen Fraktion im Vergleich zur unbehandelten Gülle in Prozent. Negative Werte bedeuten eine Zunahme der Emissionen

Emissionsreduktion %	Quelle	Bemerkungen
Rindviehgülle		
-8-12	Balsari et al. (2008)	Ausbringung auf Luzerne, Messung mittels Windtunnel; Sommer
8-26	Balsari et al. (2008)	Ausbringung auf Luzerne, Messung mittels Windtunnel, Herbst
->>100	Dinuccio et al. (2011)	
-13	Dinuccio et al. (2012)	Sommer*
12	Dinuccio et al. (2012)	Winter*

*Auf das ganze Jahr extrapoliert: Zunahme um 6 % (berechnet aufgrund der Daten publiziert in Dinuccio et al. (2012))

2.4.2 Treibhausgase

Amon et al. (2002, 2006) und Mosquera et al. (2010) fanden eine leichte Reduktion der Treibhausgasemissionen bei Ausbringung der flüssigen und festen Fraktion im Vergleich zur unbehandelten Gülle. Die Resultate von Dinuccio et al. (2011) zeigten eine leichte Erhöhung. Bei diesen Untersuchungen sind jedoch die Vorbehalte wie unter Kap. 2.4.1 erwähnt zu berücksichtigen. Bertora et al. (2008) beobachteten eine Reduktion der Emissionen von N₂O um mehr als 50 % und eine leichte Zunahme von CO₂. Insgesamt ist gemäss dieser Studie von einer Reduktion des Totals der Treibhausgase auszugehen.

2.5 Ausbringung von Dünngülle

2.5.1 Ammoniak

Die Emissionen aus der flüssigen Fraktion im Vergleich zur unbehandelten Gülle wurden in verschiedenen Studien untersucht. In den meisten Fällen resultierte eine Emissionsminderung (Tabelle 9). Ausnahmen bilden Laborstudien (Dinuccio et al., 2011, Mosquera et al., 2010) sowie die Arbeit von Mattila, Joki-Tokola (2003). In der Studie von Amon et al. (2002) führte die Ausbringung von separierter frischer Rindviehgülle zu einer Emissionsreduktion von ca. 50 % nach der Ausbringung im Vergleich zu gelagerter, unbehandelter Gülle und von ca. 75 % im Vergleich zu frischer unbehandelter Gülle (in Tabelle 9 nicht aufgeführt). Die Emissionen von frischer Schweinegülle verhielten sich bezüglich Ammoniakemissionen ähnlich wie Rindviehgülle. Gelagerte unbehandelte Schweinegülle emittierte allerdings weniger als gelagerte separierte Schweinegülle.

Nyord et al. (2012) fanden bei separierter Schweinegülle eine Emissionsreduktion von ca. 75 % im Vergleich zu unbehandelter Gülle bei Ausbringung mittels Schleppschlauch. Monaco et al. (2012) fanden bei der flüssigen Fraktion von unvergorener und vergorener Schweinegülle eine Emissionsreduktion gegenüber der unbehandelten, unvergorenen Referenz. Die Emissionsreduktion war höher bei der unvergorenen Dünngülle. Hjorth et al. (2009) untersuchten Ammoniakemissionen nach fest-flüssig Trennung von unbehandelter und vergorener Schweinegülle. Eine Emissionsminderung war bei beiden Verfahren zu beobachten. Allerdings war der Effekt bei vergorener Gülle geringer. Die Ausbringung der flüssigen Phase nach fest-flüssig Trennung mittels Sedimentation der Feststoffe führte ebenfalls zu einer Emissionsminderung (ca. 25 %) im Vergleich zu unbehandelter Gülle (Chantigny et al., 2009).

Die Ursache der Emissionsminderung ist in erster Linie auf die bessere (d.h. raschere, tiefere) Infiltration aufgrund des verminderten TS-Gehalts und der kleineren Partikelgrösse der Dünngülle zurückzuführen (Sommer et al., 2006). Sommer et al. (2006) beobachteten auf einem mittelschweren Boden (sandiger Lehm) einen grösseren Effekt als auf einem leichten Boden (Sand). Auf einem sandigen Boden dürfte die Infiltration von unbehandelter Gülle verhältnismässig rasch erfolgen, womit der Vorteil der Dünngülle diesbezüglich weniger ins Gewicht fällt.

2.5.2 Treibhausgase

Studien über Emissionen von Treibhausgasen der flüssigen Fraktion nach fest-flüssig Separierung im Vergleich zu unbehandelter Gülle zeigten widersprüchliche Resultate. In Tabelle 10 sind die Emissionen von Lachgas aufgeführt. Dabei wurde eine Emissionsminderung etwa gleich häufig wie eine Zunahme beobachtet. Bezüglich Summe der Treibhausgase liegen Daten aus zwei Studien vor. Währendem Amon et al. (2002, 2006) eine Reduktion bezüglich CO₂ Äquivalente festgestellt haben, fanden Dinuccio et al. (2011) eine Zunahme.

Tabelle 9: Emissionsminderung bezüglich Ammoniak bei der Ausbringung der flüssigen Fraktion im Vergleich zur unbehandelten Gülle in Prozent. Negative Werte bedeuten eine Zunahme der Emissionen

Emissions-reduktion %	Quelle	Bemerkungen
Rindviehgülle		
59	Amon et al. (2006)	Ausbringung simuliert als Ausbringung mittels Schleppschlauch
65	Gronauer (1987)	zitiert in Meier (1994)
~0	Mattila, Joki-Tokola (2003)	Messung an 2 Standorten über mehrere Jahre
~-100	Mosquera et al. (2010)	Ausbringung auf Grasland; fest-flüssig Trennung mittels Zentrifuge
~25	Mosquera et al. (2010)	Ausbringung auf Grasland; fest-flüssig Trennung mittels Schrauben- presse
50	Stevens et al. (1992)	
3	Thompson et al. (1990)	
-64 bis 76	Vandre et al. (1997)	nur Kombination von Separierung und Einarbeitung wirksam unter allen Wetterbedingungen.
Schweinegülle		
-40	Amon et al. (2002)	Ausbringung simuliert als Ausbringung mittels Schleppschlauch
10	Chantigny et al. (2009)	„filtered slurry“
24	Chantigny et al. (2009)	„decanted slurry“
20	Chantigny et al. (2007)	„decanted slurry“
40	Dinuccio et al. (2012)	Sommer*
51	Dinuccio et al. (2012)	Winter*
17	Gronauer (1987)	zitiert in Meier (1994)
25 / 10	Hjorth et al. (2009)	Kein Flockungshilfsmittel; Emissionsreduktion geringer bei vergorener Gülle
33	Hjorth et al. (2009)	
83	Hjorth et al. (2009)	
Ca. 40	Monaco et al. (2012)	niedriger TS Gehalt der unbehandelten Gülle (2.8 %)
14	Mosquera et al. (2010)	flüssige Fraktion berücksichtigt, Ausbringung auf Grasland; fest-flüssig Trennung mittels Zentrifuge
25	Mosquera et al. (2010)	Ausbringung auf Grasland; fest-flüssig Trennung mittels Schrauben- presse
~15	Mosquera et al. (2010)	Ausbringung auf Ackerland mit Einarbeitung; fest-flüssig Trennung mittels Zentrifuge
~25	Mosquera et al. (2010)	Ausbringung auf Ackerland mit Einarbeitung; fest-flüssig Trennung mittels Schraubenpresse
75	Nyord et al. (2012)	Ausbringung mittels Schleppschlauch auf Weizen (TS: unbehandelt: 4.7 %; separiert: 1.9 %; TAN-Gehalt etwa gleich; 2.9 bzw. 2.7 kg TAN m ⁻³ , Ausbringmenge ca. 40 m ³)
5	Sommer et al. (2006)	Sandboden (Referenz: vergorene Schweinegülle)
30	Sommer et al. (2006)	Sandiger Lehm (Referenz: vergorene Schweinegülle)

Tabelle 10: Emissionsminderung bezüglich Lachgas bei der Ausbringung der flüssigen Fraktion im Vergleich zur unbehandelten Gülle in Prozent. Negative Werte bedeuten eine Zunahme der Emissionen

Emissions-reduktion %	Quelle	Bemerkungen
Rindviehgülle		
-68	Amon et al. (2006)	Ausbringung simuliert als Ausbringung mittels Schleppschlauch
42	Dinuccio et al. (2011)	
~100	Mosquera et al. (2010)	Ausbringung auf Grasland; fest-flüssig Trennung mittels Zentrifuge
-36	Mosquera et al. (2010)	Ausbringung auf Grasland; fest-flüssig Trennung mittels Schrauben- presse
82	Mosquera et al. (2010)	Ausbringung auf Ackerland mit Einarbeitung; fest-flüssig Trennung mittels Zentrifuge
95	Mosquera et al. (2010)	Ausbringung auf Ackerland mit Einarbeitung; fest-flüssig Trennung mittels Schraubenpresse
Schweinegülle		
68	Amon et al. (2002)	Ausbringung simuliert als Ausbringung mittels Schleppschlauch
*	Bertora et al. (2008)	Emissionsreduktion bei unvergorener und vergorener flüssiger Frakti- on
0	Mosquera et al. (2010)	Ausbringung auf Grasland; fest-flüssig Trennung mittels Zentrifuge
-63	Mosquera et al. (2010)	Ausbringung auf Grasland; fest-flüssig Trennung mittels Schrauben- presse
93	Mosquera et al. (2010)	Ausbringung auf Ackerland mit Einarbeitung; fest-flüssig Trennung mittels Zentrifuge
73	Mosquera et al. (2010)	Ausbringung auf Ackerland mit Einarbeitung; fest-flüssig Trennung mittels Schraubenpresse

*nicht quantifizierbar. Aufgrund der Angaben der Autoren findet eine Reduktion statt

2.6 Summe Lager und Ausbringung von Gülle und Feststoffen

2.6.1 Ammoniak

Amon et al. (2002, 2006) beobachteten für das gesamte System Lagerung-Ausbringung deutlich höhere Ammoniakemissionen bei fest-flüssig Trennung (Abbildung 1). Die Emissionen stammten bei unbehandelter Rindviehgülle und bei unbehandelter sowie separierter Schweinegülle zum grössten Teil aus der Ausbringung. Bei Separierung resultierte auf dieser Stufe für Rindviehgülle eine Reduktion um ca. zwei Drittel, für Schweinegülle dagegen eine markante Emissionszunahme. Die Lagerverluste von Rindviehgülle waren bei Separierung nur unwesentlich, diejenigen von Schweinegülle um rund 50 % niedriger als bei unbehandelter Gülle. Die Kompostierung der Feststoffe verursachte bei Rindviehgülle ca. 70 % der gesamten Emissionen des Verfahrens Separierung und war die Ursache für die Zunahme der Emissionen. Dies traf auch auf Schweinegülle zu, allerdings weniger ausgeprägt.

Gemäss Dinuccio et al. (2012) resultierte bei der Messung unter Winterbedingungen eine Reduktion der Emissionen um 2 % und im Sommer eine Zunahme um 17 % (Abbildung 2). Auf ein ganzes Jahr extrapoliert ist ebenfalls mit einer Zunahme der Emissionen zu rechnen. Die Verteilung der Emissionen auf Lager und Ausbringung ist ähnlich wie bei Amon et al. (2002, 2006). Der grösste Teil der Emissionen stammte von der Ausbringung. Das Flüssiglager der Separierung emittierte geringfügig weniger als die unbehandelte Gülle. Sowohl beim Lager wie bei der Ausbringung kom-

persieren die zusätzlichen Emissionen der festen Phase die Emissionsminderung der separierten flüssigen Phase weitgehend.

Dinuccio et al. (2011) fanden ebenfalls höhere Ammoniakemissionen bei fest-flüssig Trennung über die ganze Kette Lagerung und Ausbringung. Allerdings sind hier die Vorbehalte wie oben erwähnt zu berücksichtigen. Mosquera et al. (2010) gehen für die Niederlande davon aus, dass bis 2020 ein Anteil von 25 % der gesamten Güllemenge separiert wird, und dass die Separierung keinen Einfluss auf die Emissionen von Ammoniak hat.

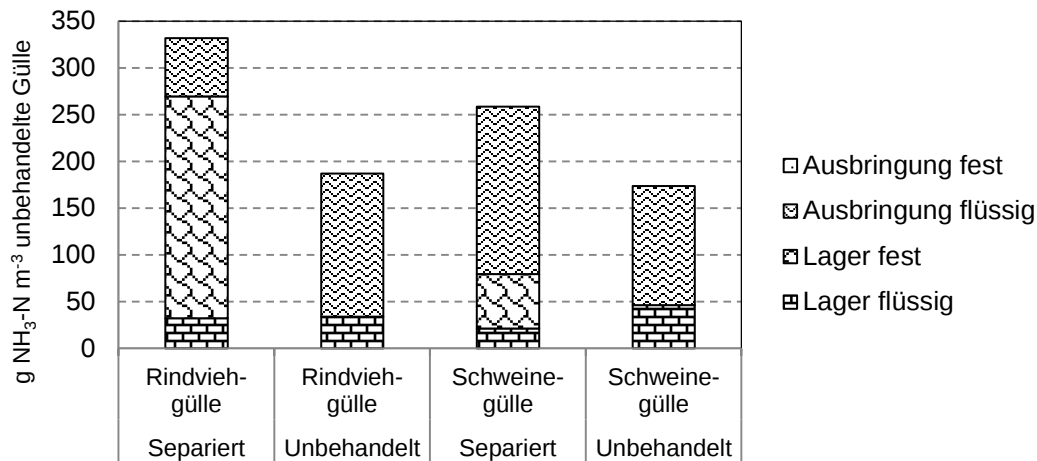


Abbildung 1: Ammoniak Emissionen der Kette Lager, Ausbringung von Gülle und Feststoffen von separierter Rindvieh- und Schweinegülle im Vergleich zu un behandelter Gülle nach Amon et al. (2002, 2006) in g m⁻³ unbehandelte Gülle.

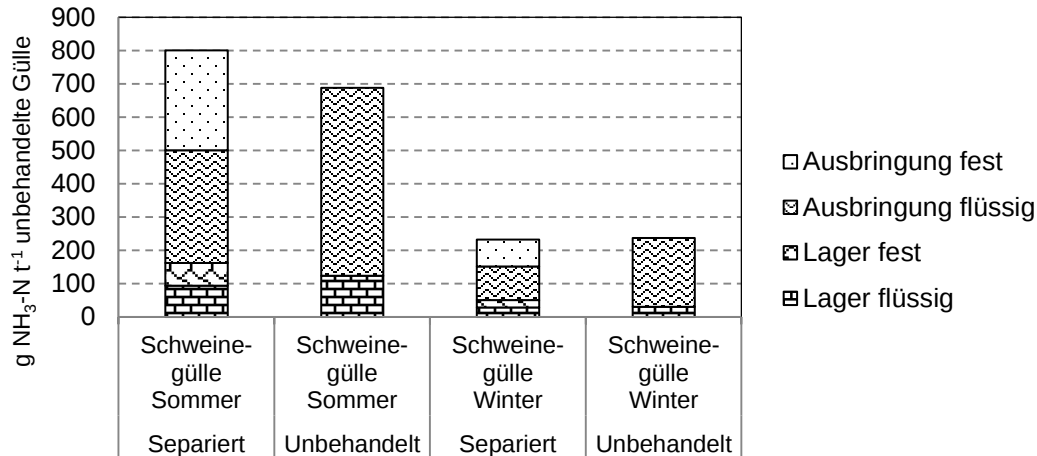


Abbildung 2: Ammoniak Emissionen der Kette Lager, Ausbringung von Gülle und Feststoffen von separierter Schweinegülle (Sommer, Winter) im Vergleich zu un behandelter Gülle nach Dinuccio et al. (2012) in g t⁻¹ unbehandelte Gülle.

2.6.2 Treibhausgase

Amon et al. (2002, 2006) fanden für das gesamte System Lagerung-Ausbringung eine Reduktion der Treibhausgase bei fest-flüssig Trennung. Dabei erfolgte eine Reduktion der Methanemissionen um ca. 20 %. Der grösste Anteil der Emissionen stammte aus der Lagerung. Der Anteil der Feststoffe betrug ca. 25 %. Bei Lachgas resultierte eine leicht höhere Gesamtemission beim Verfahren Separierung im Vergleich zu un behandelter Gülle. Fast die Hälfte der Emissionen stammte aus der Kompostierung der Feststoffe. Die Treibhausgasemissionen ausgedrückt als CO₂ Äquivalente lagen beim Verfahren Separierung um etwa einen Drittel tiefer im Vergleich zur un behandelten Gülle. Dinuccio et al. (2011) beobachteten dagegen leicht höhere Emissionen. Mosquera et al. (2010)

rechnen bis 2020 mit leicht tieferen Treibhausgasemissionen für die Niederlande aufgrund der Separierung von Gülle.

2.7 Emissionsmindernde Massnahmen

Hansen et al. (2006) untersuchten die Emissionen von Ammoniak und Treibhausgasen während der Lagerung der festen Fraktion der Separierung von Schweinegülle. Eine Abdeckung mittels luftdichter Plastikfolie führte zu einer Reduktion der Emissionen von NH_3 , N_2O und CH_4 um 12 %, 99 % und 88 %.

2.8 Auswirkungen auf Erträge und N-Effizienz

Sorensen und Thomsen (2005) fanden keinen Unterschied bezüglich Wirksamkeit des Stickstoffs von separierter und unbehandelter Schweinegülle. Bhandral et al. (2009) und Bittman et al. (2011) beobachteten dagegen eine verbesserte N-Effizienz der flüssigen Fraktion im Vergleich zu unbehandelter Schweinegülle.

2.9 Diskussion der Resultate der Literaturstudie

Der Einfluss der Separierung auf die Emissionen von Ammoniak und/oder Treibhausgasen aus der Lagerung und der Ausbringung erfolgte überwiegend in Form von Laborstudien. Laboruntersuchungen haben den Vorteil, dass mehrere Verfahren parallel untersucht, und die Rahmenbedingungen kontrolliert werden können. Allerdings stellt sich die Frage, ob für eine heterogene Matrix wie Gülle die geringen Volumina bzw. Flächen, welche unter Laborbedingungen zur Simulation von Lager und Ausbringung verfügbar sind, für belastbare Resultate ausreichen. Diese Einschränkungen erklären möglicherweise die teilweise inkonsistenten Resultate.

Die Mehrzahl der Untersuchungsergebnisse bezieht sich auf die Ausbringung der separierten flüssigen Phase. Hier kann man eindeutig von einer Reduktion der Ammoniakemissionen ausgehen. Bezüglich Treibhausgase sind die Resultate widersprüchlich. Die Betrachtung der flüssigen Phase allein ist jedoch unzureichend, da die Emissionen aus der festen Phase zwar deutlich niedriger, aber nicht vernachlässigbar sind. Bezüglich Lagerung wurde in den Untersuchungen vorwiegend eine Zunahme der Ammoniakemissionen aus der flüssigen und festen Phase im Vergleich zur unbehandelten Gülle beobachtet. Bei den Treibhausgasen sind die Resultate nicht eindeutig. Über die ganze Kette Lagerung und Ausbringung ist keine eindeutige Abnahme der Ammoniakemissionen vorhanden. Für die Treibhausgase scheint eine Tendenz in Richtung Reduktion zu bestehen. Allerdings basieren diese Ergebnisse auf lediglich drei bzw. zwei Feldstudien für Ammoniak und Treibhausgase. Aus der vorliegenden Zusammenstellung von Versuchsergebnissen ist kein eindeutiger Effekt der Gülleseparierung hinsichtlich Reduktion der Emissionen von Ammoniak und Treibhausgasen erkennbar. Dies stimmt mit Mosquera et al. (2010) überein. Sie gehen davon aus, dass bei einem Anteil von 25 % Separierung der gesamten Güllemenge die Emissionen von Ammoniak in den Niederlanden nicht abnehmen. Für Treibhausgase rechnen sie mit leicht tieferen Emissionen. Hutchings et al. (2013) modellierten Stickstoffflüsse und Emissionen verschiedener Betriebe mit Mastschweinen und Verwendung von Separierung unter praxisnahen Bedingungen. Die Variante mit Schraubenpresse und Ausbringung der flüssigen und festen Phase unterschied sich bezüglich der Emissionen kaum von der Referenz ohne Separierung.

3. Erhebung der Praxis der Separierung in der Schweiz:

3.1 Vorgehen

3.1.1 Umfrage bei Herstellern/Verkäufern von Gülleseparatoren

Insgesamt wurden 4 Firmen, welche Geräte zur Separierung von Gülle herstellen, verkaufen und/oder vermieten, per Telefon befragt. Die Fragen wurden offen gestellt und betrafen die Anzahl der betriebenen Gülleseparatoren, Stand, Entwicklung und Perspektiven der Separierung von Gülle in der Schweiz.

3.1.2 Umfrage bei Betrieben mit Gülleseparatoren

Insgesamt wurden Daten von 22 Betrieben, welche einen Separator installiert haben, mittels Telefoninterview erhoben. Deren Adressen stammten mehrheitlich von Herstellern/Verkäufern von Gülleseparatoren. Fünf der Befragten betrieben neben der Landwirtschaft eine Vergärungsanlage (4 landwirtschaftliche Vergärungsanlagen des Typs A oder B, eine Anlage des Typs C aufgrund des Anteils an Co-Substraten von mehr als 20 %; vgl. Agridea, BLW, 2013).

Insgesamt wurden rund 100 Daten zu folgenden Punkten erhoben:

- Kenndaten des Betriebs
- Ursache für den Betrieb der Separierung von Gülle
- Separierung (Typ des Separators, Installation, Betrieb des Separators)
- Gülle zur Separierung (Gülletyp, Co-Substrate)
- Lagerung der Gülle vor Separierung (v.a. Lagervolumen, Typ Abdeckung)
- Lagerung der Dünngülle und der Feststoffe nach der Separierung (v.a. Lagervolumen, Typ Abdeckung)
- Verwendung der Feststoffe (Ausbringung, Einstreue etc.)
- Ausbringung der Dünngülle und der Feststoffe (Gerät zur Ausbringung, Ausbringmenge, Kulturen)
- Erfahrungen des Betriebsleiters (Zufriedenheit mit dem Verfahren, Vor-, Nachteile)

Rund zwei Drittel der Fragen konnten mit Ja/Nein (z.B. Gülle zur Separierung: Rindviehvollgülle: Ja/Nein) beantwortet werden, etwa 20 % erforderten quantitative Angaben (z.B. Lagerung Gülle vor Separierung: Lagervolumen total in m³) und die restlichen Fragen waren offen (z.B. Erfahrungen des Betriebsleiters, Zufriedenheit mit dem Verfahren). Bei Ja/Nein Fragen wurden weitergehende Informationen eingeholt soweit möglich (z.B. Gülle zur Separierung: Anteil Rindviehvollgülle am total der Substrate zur Separierung). Antworten zu offenen Fragen (z.B. Zufriedenheit mit dem Verfahren) wurden für die Auswertung klassiert. Eine Liste mit den Fragen, die im Rahmen der Telefoninterviews gestellt wurden, ist in Anhang 1 aufgeführt.

Die Befragung dauerte zwischen 10 Minuten und einer halben Stunde. Es wurden nur Daten abgefragt, welche die Betriebsleiter ohne Nachschlagen in Unterlagen liefern konnten. Soweit den Befragten eine Information nicht bekannt oder sie diesbezüglich unsicher waren, wurden die gelieferten Informationen nur soweit vorhanden aufgenommen und zur folgenden Frage übergegangen. Aus diesem Grund, und weil bei den Interviews gelegentlich Fragen vergessen gingen, ist bei gewissen Fragen die Anzahl von Antworten kleiner als die Anzahl der befragten Betriebe (Anzahl Antworten in den Tabelle 12 bis Tabelle 26 in Spalte „n“ angegeben).

Die Befragungen wurden zwischen November 2013 und Februar 2014 durchgeführt.

3.2 Resultate

3.2.1 Umfrage bei Herstellern/Verkäufern von Gülleseparatoren

Die Anzahl Gülleseparatoren in der Schweiz wird auf rund 100 Stück geschätzt. Über 90 % davon sind Schraubenpressen. Die Nachfrage nach Gülleseparierung ist begrenzt. Informationen von andern Quellen (z.B. Lohnunternehmer, welche die Separierung von Gülle aufgegeben haben) stützen diese Einschätzung. Andererseits existieren heute Baukonzepte für Ställe, welche auf die Separierung von Gülle ausgelegt sind. Dabei wird die frische Gülle in einer Vorgrube, die Dünngülle in einem separaten Behälter gelagert und der Feststoff, oft gemischt mit Kalk und Stroh, als Einstreue verwendet. Die Einstreue basierend auf den Feststoffen ist damit Teil des Betriebskonzepts. Beim Endlager für die Dünngülle kann auf ein fest installiertes Rührwerk verzichtet werden, da sich in den meisten Fällen keine Schwimmschicht bildet.

Für Milchproduzenten gewisser Käseereien mit Produktion von Rohmilchkäse bzw. einzelner Käsesorten ist die Verwendung von Einstreue basierend auf Feststoffen aus der Separierung nicht zugelassen.

3.2.2 Umfrage bei Betrieben mit Gülleseparatoren

3.2.2.1 Kenndaten der Betriebe

Wichtige Kenndaten der befragten Betriebe sind in Tabelle 11 aufgeführt. Von den 22 Betrieben befinden sich 13 in der Region Zentral Schweiz und 5 bzw. 4 Betriebe in der Region Ost bzw. West/Süd. Die Betriebe liegen mehrheitlich in der Talregion (11 Betriebe). Die Höhestufen Hügel- und Bergregion sind mit 6 bzw. 5 Betrieben vertreten. Die Betriebe halten vorwiegend Rindvieh (15 Betriebe), wobei die Typen „Verkehrsmilch“ und „Kombiniert Verkehrsmilch/Ackerbau“ am häufigsten vorkommen. 5 Betriebe sind Veredlungsbetriebe, davon 2 reine und 3 kombinierte Veredlungsbetriebe. Die Betriebe weisen durchschnittlich 49 ha landwirtschaftliche Nutzfläche auf (Bereich 5.5-150 ha). Dies liegt deutlich über dem schweizerischen Mittelwert von 18.3 ha. Die Anzahl GVE (Grossvieheinheiten) von Rindvieh (RiGVE) und Schweinen (SGVE) beträgt im Durchschnitt 77 RiGVE und 97 SGVE. Dies ist wesentlich über dem schweizerischen Mittelwert von 24 RiGVE bzw. 23 SGVE pro Betrieb. Beim Rindvieh ist der Boxenlaufstall das weitaus häufigste Stallsystem (16 von 21 Betrieben).

Tabelle 11: Allgemeine Angaben zu den befragten Betrieben (Anzahl befragte Betriebe: 22); Anzahl Nennungen (N), Mittelwert (MW), Minimum (Min.), Maximum (Max.)

	N		N	MW	Min	Max
Geographische Lage*		Fläche LN (ha)	22	49	5.5	150
Ost Schweiz	5	Tiere (Anzahl Grossvieheinheiten, GVE)				
Zentral Schweiz	13	GVE Rind	21	77	4.8	200
West/Süd Schweiz	4	GVE Schwein	5	97	18	196
Zone		GVE übrige Tierkategorien	4	13	0.7	46
Tal	11	Stallsystem				
Hügel	6	Boxenlaufstall	16	-	-	-
Berg	5	Anbindestall	1	-	-	-
Betriebstyp		Boxenlaufstall/Anbindestall	1	-	-	-
Verkehrsmilch	6	Anderer Typ Laufstall /Anbindestall	2	-	-	-
Veredlung	2	Tretmiststall	1	-	-	-
Mutterkühe	1	Labelstall (Schweine)	1	-	-	-
Kombiniert Verkehrsmilch/Ackerbau	7					
Kombiniert Veredlung	3					
Kombiniert nicht zuteilbar	2					
Kombiniert Mutterkühe	1					

* Ost Schweiz: GR, SG, AR, AI, TG, SH, ZH, SZ, UR, GL
 Zentral Schweiz: AG, BL, BS, LU, ZG, OW, NW, SO, BE
 West/Süd Schweiz: JU, NE, VD, FR, GE, VS, TI

Diese Zahlen weisen darauf hin, dass Betriebe mit Gülleseparierung eine überdurchschnittliche Grösse aufweisen. Betriebe mit Rindvieh wenden diese Technologie häufiger an als Betriebe mit Schweinehaltung.

3.2.2.2 Gründe für die Anwendung der Separierung

In Tabelle 12 sind die Gründe für die Anwendung der Separierung aufgeführt. Von jedem Betrieb wurden die drei wichtigsten Gründe in abnehmender Priorität aufgenommen. Es zeigte sich, dass die Handhabung der Gülle beim Ausbringen (insbesondere Vermeidung von Streifen auf der Grasnarbe und Futtermittelverschmutzung) die wichtigste Ursache zur Anwendung der Separierung darstellt (total 14 Nennungen, davon 9 in erster Priorität). In diesem Zusammenhang wurden meistens auch Schwierigkeiten beim Betrieb des Schleppschlauchverteilers bei Anfall von Gülle mit hohem Trockensubstanzgehalt genannt. Teilweise liess sich die Kategorie „Ausbringung“ nicht klar abgrenzen von der besseren Düngewirkung der Dünngülle (5 Nennungen, alle 2. oder 3. Priorität). Der zweit wichtigste Grund war die Gewinnung von Einstreue (Total 9 Nennungen, davon 2 in erster und 5 bzw. 2 in zweiter bzw. dritter Priorität). Die Mehrzahl der Betriebe (5 Betriebe), welche Einstreue als Grund für die Separierung angab, nannte den Punkt Ausbringung in erster Priorität. Weitere wichtige Gründe waren die Lagerung bzw. der Betrieb des Rührwerks im Güllelager (7 Nennungen, davon 2 in erster Priorität) und das Vermeiden von Verstopfungen von Bodenleitungen (4 Nennungen, davon 3 in erster Priorität).

Tabelle 12: Gründe für die Anwendung der Separierung (Anzahl Nennungen nach 1., 2. und 3. Priorität und Total); n: Anzahl Antworten

	n	Anzahl Nennungen			
		1.Pr.	2.Pr.	3.Pr.	Total
1. Ausbringung (Handling, Vermeidung Streifen, Futtermittelverschmutzung)	22	9	3	2	14
2. Gewinnung von Einstreue	22	2	5	2	9
3. Lagerung (Handhabung der Gülle, Betrieb des Rührwerks)	22	2	4	1	7
4. Bessere Düngewirkung der Dünngülle	22	0	3	2	5
5. Vermeidung Verstopfungen (Leitungen Betrieb, Bodenleitungen)	22	3	1	0	4
6. Ammoniakverluste	22	0	4	0	4
7. Nährstoffexport via Feststoffe	22	3	0	0	3*
8. Verminderung Lagervolumen Gülle	22	1	0	1	2
9. Betrieb Vergärungsanlage	22	1	0	0	1

*2 Betriebe mit Vergärungsanlagen, 1 kombinierter Veredlungsbetrieb in tierintensiver Region

Die Befragung zeigte, dass die Separierung in erster Linie im Zusammenhang mit Problemen bei der Handhabung von Gülle mit hohem Trockensubstanzgehalt steht (wie Betrieb des Rührwerks im Lagerbehälter, Bildung einer Schwimmschicht, welche vom Rührwerk nicht mehr aufgebrochen werden kann, und zu Überlastung und Beschädigung des Rührwerks führt, Verstopfungen von Bodenleitungen, Verstopfungen des Schleppschlauchverteilers und Verschmutzung des Futters). Dies bezieht sich aber nur auf Betriebe mit Rindvieh, nicht aber auf Veredlungsbetriebe oder auf Betriebe mit Vergärungsanlagen.

Andere Vorteile, wie die Verminderung von Ammoniakemissionen oder die Reduktion des Bedarfs an Lagervolumen wurden deutlich weniger häufig genannt. Für einen Betrieb war die Separierung für den Betrieb der Vergärungsanlage bzw. zur Verflüssigung der Co-Substrate erforderlich. Der Nährstoffexport mittels Wegfuhr der Feststoffe scheint heute eine niedrige Priorität zu haben. Lediglich 3 Betriebe, davon 2 mit einer Vergärungsanlage, und ein Veredlungsbetrieb gaben die Abfuhr von Nährstoffen als Grund an. Dies stimmt auch mit Aussagen von Betrieben überein, welche die Separierung von Gülle wieder aufgegeben haben (vgl. Kap. 3.2.2.7). Einer der befragten Betriebe (Typ Veredlung kombiniert) gibt im Frühjahr und im Herbst einen Teil der Vollgülle an Dritt-

betriebe ab. Ursache für die Aufgabe des Exports von Feststoffen waren der seiner Meinung nach grosse Aufwand und die Kosten für die erforderlichen Analysen.

3.2.2.3 Technologie zur Separierung von Gülle und Art der separierten Substrate

In Tabelle 13 sind die erhobenen Kenndaten zur Technologie zur Separierung von Gülle aufgeführt. Im Durchschnitt betrieben die Befragten die Gülleseparierung seit rund 5 Jahren (Bereich: ein halbes Jahr bis 16 Jahre). Mit einer Ausnahme wurde die Separierung mittels Schraubenpresse durchgeführt. Ein Betrieb mit Vergärungsanlage hatte ein Trommelsieb. Die Siebweite bei der Schraubenpresse variierte über einen relativ grossen Bereich (0.25 bis 1.5 mm). Die Mehrzahl der Anlagen dürfte aber eine Siebweite von 0.5 oder 0.75 mm aufweisen. Der Einsatz von Additiven wie Flockungshilfsmittel oder eine weitere Aufbereitung der Endprodukte mit Ausnahme der Kompostierung der Feststoffe kamen nicht vor.

Die Geräte waren häufiger fest installiert (n=13) als mobil (n=9). Nur 3 der 22 Geräte wurden überbetrieblich eingesetzt. Die Geräte standen meist im Freien. Nur auf 3 Betrieben waren sie eingehaust. Eine Zwangslüftung der Einhausung war nur auf einem Betrieb vorhanden.

Tabelle 13: Technologie zur Separierung von Gülle: Anzahl Nennungen (N), Mittelwert (MW), Minimum (Min.), Maximum (Max.); n: Anzahl Antworten

	n	N	MW	Min.	Max.
Seit wann wird separiert	21	-	5	0.5	16
	22				
Verwendeter Geräte Typ Schraubenpresse	22	21	-	-	-
<i>Siebweite: 0.25 mm</i>	10	1	-	-	-
<i>Siebweite: 0.5 mm</i>	10	2	-	-	-
<i>Siebweite: 0.75 mm</i>	10	5	-	-	-
<i>Siebweite: 1 mm</i>	10	1	-	-	-
<i>Siebweite: 1.5 mm</i>	10	1	-	-	-
Verwendeter Geräte Typ: Trommelsieb	22	1	-	-	-
Installation des Geräts					
Fest installiert	22	13	-	-	-
Einhausung	17	3	-	-	-
Zwangslüftung der Einhausung	17	1	-	-	-
Mobil	22	9	-	-	-
Eigenes Gerät	22	19	-	-	-
Überbetrieblich eingesetztes Gerät	22	3	-	-	-
Durchflussgeschwindigkeit des Separators (m ³ /h)*	21	-	22	0.75	60
Anzahl Betriebsstunden des Separator pro Jahr (h/a)	21	-	459	5	3000
Häufigkeit Betrieb Separator (Anzahl pro Jahr)	21	-	112	1	900

* m³ Rohgülle pro Betriebsstunde

Durchflussgeschwindigkeit des Separators betrug im Mittel 22 m³ Rohgülle pro Stunde. Der Bereich zwischen Minimum und Maximum war gross (0.75 bis 60 m³ Rohgülle pro Stunde). Aufgrund der Daten war kein Zusammenhang mit dem Gerätetyp oder mit den zu separierenden Substraten zu erkennen. Die Betriebe hatten meist den gleichen Gerätetyp in Betrieb. Inwiefern sich die Siebweite auf die Leistung auswirkte, liess sich nicht eruieren, da dieser Wert oft nicht genannt werden konnte. Im Durchschnitt über alle Betriebe war der Separator rund alle 3 Tage in Betrieb (112 Mal pro Jahr). Die Streuung war gross mit einem Minimalwert von 1 Mal pro Jahr bis 2 bis 3 Mal pro Tag. Die Anzahl Betriebsstunden betrug im Mittel 459 h (Bereich: 5 bis 3'000 Betriebsstunden).

Die Menge der Substrate zur Separierung belief sich im Mittel auf rund 2'700 m³ pro Jahr und Betrieb (Bereich: ca. 130- 10'000 m³ pro Jahr und Betrieb; Tabelle 14). 16 Betriebe separierten Rindviehgülle. In den meisten Fällen handelte es sich dabei um Vollgülle. Auf je einem Betrieb wurde Mischgülle von Rindvieh und Schweinen separiert. Bei Betrieben mit Vergärungsanlage machte Rindviehvollgülle sowie Mischgülle von Rindvieh und Schweinen den grössten Teil des Substrats eingangs des Separators aus (rund 60 %). Co-Substrate hatten einen Anteil von rund 35 %. Als Co-Substrate wurden Speisereste, verbrauchtes Frittieröl, Kaffeesatz, Fettschlamm, Grüngut, Müllereiabfälle, Sortierabfälle von Obst, Trauben- und Obsttrester, Rübenabfälle, Gemüseabfälle, Käseabfälle und Zuckerwasser erwähnt. Auf zwei Betrieben wurden weitere Hofdünger (Mist von Pferden, Poulets Legehennen) vergärt.

Tabelle 14: Substrate eingangs des Separators (Anteil in Prozent und Menge Substrate separiert total pro Jahr; Anzahl Nennungen (N), Mittelwert (MW), Minimum (Min.), Maximum (Max.) in m³; n: Anzahl Antworten

	n	N	MW	Min.	Max.
Unvergoren					
Rindviehgülle	22	16	-	-	-
Schweinegülle	22	1	-	-	-
Mischgülle Rindvieh/Schweine	22	1	-	-	-
Andere Hofdünger	22	0	-	-	-
Vergoren					
Rindviehgülle	22	2	56 %	25 %	86 %
Schweinegülle	22	0	-	-	-
Mischgülle Rindvieh/Schweine	22	3	62 %	27 %	80 %
Andere Hofdünger	22	2	15 %	5 %	25 %
Cosubstrat (Vergärungsanlagen)	22	5	34 %	14 %	66 %
Menge Substrate separiert total pro Jahr (m ³)	21	-	2'725	133	10'000

3.2.2.4 Lagerung von Gülle vor und nach der Separierung sowie Lagerung der Feststoffe

Die befragten Betriebe hatten im Mittel ein Lagervolumen für die Gülle vor der Separierung von 570 m³ (Tabelle 15). Die Lagerbehälter wiesen eine Tiefe von 3.3 m auf (Mittelwert für die Schweiz: 3.0 m; Kupper et al., 2013).

Tabelle 15: Lagerung der Gülle vor der Separierung: Lagervolumen total pro Betrieb, Tiefe der Lagerbehälter und Abdeckungen der Lagerbehälter (Volumen der Behälter je Typ Abdeckung und Anteile am Total); Mittelwert (MW), Minimum (Min.), Maximum (Max.) in m³; n: Anzahl Antworten

	n	MW	Min.	Max.	Anteil
Lagervolumen total (m ³)	22	570	120	2800	-
Lagerbehälter Tiefe (m)	15	3.3	2.0	5.0	-
Abdeckung Lager					
fest (m ³)	16	533	120	2800	68 %
perforiert (m ³)	7	367	120	1000	20 %
keine (m ³)	2	725	450	1000	12 %
Lagerdauer (Monate)	17	3	0.5	12	-

Der grösste Teil der Behälter hatte eine feste Abdeckung (16 von insgesamt 25 Behältern). Bezüglich Lagervolumen machten Lagerbehälter mit einer festen Abdeckung 68 %, mit einer perforierten Abdeckung 20 % und offene Behälter 12 % des gesamten Lagervolumens aus. Andere Abdeckungen wie Zelt oder Schwimmfolie kamen nicht vor. Dies stimmt für Lager mit fester Abdeckung gut

mit dem gesamtschweizerischen Wert überein (67 %). Auf den befragten Betrieben war der Anteil offener Lagerbehälter etwas niedriger und derjenige für die perforierte Abdeckung leicht höher als der schweizerische Mittelwert (16 % bzw. 17 % für perforierte Abdeckung, bzw. offene Behälter; Kupper et al., 2013). Die Kapazität für die Güllelagerung betrug im Durchschnitt 3 Monate (Bereich: 0.5 bis 12 Monate).

Die Dünngülle wurde bei allen Befragten auf dem Betrieb gelagert (Tabelle 16). In 4 Fällen erfolgte die Lagerung im gleichen Behälter wie die unbehandelte Gülle. Bei drei Betrieben lag dies an fehlenden zusätzlichen Lagerbehältern, wobei in einem Fall der Betrieb ein überbetrieblich genutztes, mobiles Gerät einsetzte und nur über einen einzigen Lagerbehälter verfügte. In zwei Fällen war mindestens ein weiteres Güllelager auf dem eigenen oder einem Drittbetrieb vorhanden. Deren Volumen reichte aber nicht aus zur Aufnahme der gesamten Menge an Dünngülle. In einem Fall (Vergärungsanlage mit 50 % Anteil Co-Substrat) wurde ein Teil der Dünngülle gezielt eingesetzt, um die Gülle vor der Vergärung zu verdünnen und damit in eine pumpfähige Form zu bringen. Gemäss Aussagen aller Befragten (n=10) bildet sich während der Lagerung von Dünngülle keine oder eine weniger ausgeprägte Schwimmschicht im Vergleich zu unbehandelter Gülle.

Tabelle 16: Angaben zur Lagerung der Dünngülle nach der Separierung: Anzahl Nennungen (Ja/Nein); n: Anzahl Antworten

	n	Ja	Nein
Lagerung Dünngülle auf dem Betrieb	22	22*	0
Lagerung im gleichen Lagerbehälter wie vor Separierung	22	4**	18
Bildung Schwimmschicht nach Separierung	10	0***	8***

* Anteil im Durchschnitt 91 % der produzierten Dünngülle

** Anteil 13 % des gesamten Lagervolumens

*** Zusätzlich gaben 2 Betriebe an, dass die Bildung einer Schwimmschicht weniger ausgeprägt ist.

Das mittlere Lagervolumen pro Betrieb für die Dünngülle war deutlich höher als bei der unbehandelten Gülle und betrug rund 1'000 m³ (Tabelle 17). Die Lagertiefe war mit 4.0 m ebenfalls grösser. Knapp die Hälfte der Behälter wies eine feste Abdeckung auf (12 von insgesamt 25 Behältern). Bezüglich Lagervolumen machten Lagerbehälter mit einer festen Abdeckung 43 %, mit einer perforierten Abdeckung 24 % und offene Behälter 26 % des gesamten Lagervolumens aus. Ein Betrieb hatte ein offenes Lager mit Hexa-Cover Schwimmkörpern (Anteil am gesamten Lagervolumen: 7 %). Im Vergleich zur unbehandelten Gülle wurde separierte Gülle häufiger in ungedeckten Behältern gelagert. Die Kapazität der Lagerbehälter betrug im Durchschnitt 4 Monate (Bereich: 1 bis 9 Monate).

Tabelle 17: Lagerung der Dünngülle: Lagervolumen total pro Betrieb, Tiefe der Lagerbehälter und Abdeckungen der Lagerbehälter (Volumen der Behälter je Typ Abdeckung und Anteile am Total in Prozent); Mittelwert (MW), Minimum (Min.), Maximum (Max.) in m³; n: Anzahl Antworten

	n	MW	Min.	Max.	Anteil
Lagervolumen total (m ³)	18	1047	220	2700	-
Lagerbehälter Tiefe (m)	16	4.0	2.0	5.7	-
Abdeckung Lager					
Feste Abdeckung (m ³)	12	795	175	1600	43 %
Perforierte Abdeckung (m ³)	6	863	175	1600	24 %
keine (m ³)	6	960	450	1860	26 %
Andere*	1	1500	-	-	7 %
Lagerdauer (Monate)	20	4	1	8.5	-

*Offenes Lager mit Hexa-Cover Schwimmkörpern

Das totale Lagervolumen pro Betrieb (Gülle vor der Separierung und Dünngülle) betrug im Durchschnitt 1426 m³ (Bereich: 340-4200 m³). Im Vergleich dazu liegt in der Schweiz die mittlere Lagerkapazität für Gülle pro Betrieb bei 513 m³ (hergeleitet aus Kupper et al., 2013). Auf den befragten Betrieben verteilt sich das gesamte Güllelagervolumen zu 45 % auf Lager für unbehandelte Gülle und zu 55 % auf Behälter für separierte Gülle. Das Lagervolumen pro GVE Rindvieh plus GVE Schweine lag auf den Betrieben bei 17 m³ pro GVE. Dies ist etwas höher als der Wert für die Schweiz von 15 m³ pro GVE.

In den meisten Fällen wurden die Feststoffe auf dem Betrieb gelagert und anschliessend verwendet (Tabelle 18). Nur 3 Betriebe gaben Feststoffe an Dritte ab (im Durchschnitt 4 % der Gesamtmenge). Die Lager sind mehrheitlich offen, 3 Betriebe deckten die Feststoffe mit Folie oder Vlies ab. Auf 4 Betrieben wurden die Feststoffe kompostiert.

Die Lagerdauer der Feststoffe betrug im Durchschnitt 2 Monate (Bereich: 0 bis 6 Monate). Vor allem bei Verwendung der Feststoffe als Einstreue war die Lagerdauer kurz. Teilweise wird separiert, sobald die Matratzen in den Liegeboxen nachgefüllt werden müssen und die Feststoffe direkt ab Separator oder nach kurzer Lagerdauer eingefüllt.

Tabelle 18: Lagerung der Feststoffe nach der Separierung; Anzahl Nennungen (Ja/Nein) und Anteil der Feststoffmenge in Prozent (Mittelwert aller Betriebe); n: Anzahl Antworten

	n	Ja	Nein	Anteil
Lagerung Feststoffe auf dem Betrieb	20	17	3	96 %
Abgabe Feststoffe nach Separierung	20	3	17	4 %
Lager offen	20	7	-	-
Lager offen abgedeckt	20	3	-	-
Kompostierung	20	4	-	-
Lagerdauer (Monate)	16	2	0-6	-

3.2.2.5 Verwendung und Ausbringung von Dünngülle und Feststoffen

Die Verwendung von Dünngülle und Feststoffen ist in Tabelle 19 aufgeführt. Alle Betriebe verwendeten die Dünngülle vollständig oder teilweise auf dem eigenen Betrieb. 5 Betriebe gaben einen Teil der Dünngülle zur Verwertung auf der landwirtschaftlichen Nutzfläche an Drittbetriebe ab. 95 % der Dünngülle verblieben auf den Standortsbetrieben und 5 % wurden abgegeben.

Tabelle 19: Verwendung von Dünngülle und Feststoffe; Anzahl Nennungen (Ja/Nein) und Anteil in Prozent (Mittelwert aller Betriebe); n: Anzahl Antworten

	n	Ja	Nein	Anteil
Dünngülle				
Ausbringung auf der landw. Nutzfläche des eigenen Betriebs	20	20	0	95 %
Abgabe an Dritte zur Ausbringung auf der landw. Nutzfläche	20	3	17	5 %
Feststoffe				
Ausbringung auf der landw. Nutzfläche des eigenen Betriebs*	22	17	5	57 %
Abgabe an Dritte zur Ausbringung auf der landw. Nutzfläche*	22	3	19	5 %
Verwendung als Einstreue	22	11	11	37 %
Abgabe an Dritte zur Verwendung im Gartenbau	22	3	19	1 %

* Auf 4 Betrieben wurden die Feststoffe nach Kompostierung abgegeben.

Der grösste Teil der Feststoffe wurde auf der Nutzfläche des eigenen Betriebs ausgebracht (17 Betriebe, im Mittel 57 % der anfallenden Menge). Ein kleiner Teil, nämlich im Mittel 5 % der Menge

ging an Drittbetriebe. 4 Betriebe kompostierten die Feststoffe vor der Anwendung. Die Hälfte der befragten Betriebe verwendeten die Feststoffe als Einstreue. Dazu wurde über alle Betriebe gemittelt ein Anteil von 37 % der anfallenden Menge eingesetzt. Die Abgabe der Feststoffe an Dritte zur Verwendung im gewerblichen oder privaten Gartenbau kam ebenfalls vor, hatte aber mengenmässig eine sehr geringe Bedeutung.

Die Dünggülle wurde von 20 Betrieben mittels Schleppschlauchverteiler ausgebracht (Tabelle 20). Davon setzten 17 Betriebe dieses Gerät für die gesamte Menge ein. Die mittels Schleppschlauchverteiler ausgebrachte Menge entsprach 85 % der anfallenden Dünggülle. Der Breitverteiler wurde von 5 Betrieben zur Ausbringung eingesetzt. Davon brachten 2 Betriebe 100 % der Dünggülle und 3 Betriebe einen Teil davon (d.h. einen Viertel bis zwei Drittel) mittels Prallteller aus. Die mittlere Ausbringmenge betrug 30 m³ pro ha und Gabe (Bereich: 20-40 m³ pro ha und Gabe). Dies ist etwas höher als der gesamtschweizerische Mittelwert für Gülle von rund 25 m³ pro ha und Gabe (Kupper et al., 2013).

Tabelle 20: Geräte zur Ausbringung von Dünggülle. Anzahl Nennungen (Ja/Nein), Anteil der ausgebrachten Dünggülle in Prozent; Mittelwert (MW), Minimum (Min.), Maximum (Max.); n: Anzahl Antworten

	n	Ja	Nein	MW	Min.	Max.
Schleppschlauch	22	20	2	85 %	0 %	100 %
Prallteller	22	5	17	15 %	0 %	100 %
Ausbringmenge m ³ pro ha und Gabe	18	-	-	30	20	40

Dünggülle wurde überwiegend auf Grasland ausgebracht (20 Nennungen; 91 % der Nennungen; Tabelle 21). Etwa 20 % aller Betriebe setzten die Gülle auch auf Ackerland ein (Getreide, Mais). Andere Kulturen wurden kaum genannt. Im Vergleich dazu ist die gesamtschweizerische Verteilung von unbehandelter Gülle wie folgt: Grasland inkl. Zwischenfutter: 81 %; Getreide: 8 %, Mais: 6 % und Stoppeln: 3 % HAFL, unveröffentlichte Daten). Die Verteilung von unbehandelter Gülle ist demnach im Verhältnis ähnlich wie von Dünggülle.

Einige Betriebsleiter setzten nicht die gesamte anfallende Güllemenge als Dünggülle ein. So wurde etwa im Sommer nicht behandelte Gülle auf Stoppeln ausgebracht. Im Futterbau kommt jedoch nahezu ausschliesslich Dünggülle zum Einsatz.

Tabelle 21: Ausbringung von Dünggülle nach Kulturen. Anzahl Nennungen (N) und Prozentanteil der Nennungen; n: Anzahl Antworten

	n	N	%
Grasland	22	20	91
Getreide	22	5	23
Mais	22	4	18
Stoppeln	22	1	5

Die Feststoffe wurden zum grössten Teil mittels Mistzetter ausgebracht (67 % der Betriebe; Tabelle 22). Ein Viertel der Betriebe setzte dazu Kompoststreuer (Exaktstreuer) ein. Die Ausbringmenge betrug 26 m³/ha. Im Vergleich kann die durchschnittliche Ausbringmenge von Stapelmist auf ca. 20 t/ha geschätzt werden (HAFL, unveröffentlichte Daten). Umgerechnet mit einem Raumgewicht von 600 kg/m³¹ resultierte eine Ausbringmenge von 33 m³/ha. Diese Zahl ist vergleichbar mit der ermittelten mittleren Ausbringmenge der Feststoffe.

¹ Wert gültig für Stapelmist verladen mittels Mistkran oder Frontlader nach (Flisch et al., 2009)

Tabelle 22: Ausbringung der Feststoffe: Anzahl Nennungen (N) und Prozentanteil der Nennungen; Mittelwert (MW), Minimum (Min.), Maximum (Max.); n: Anzahl Antworten

	n	N	%	MW	Min	Max
Mistzetter	21	12	67*	-	-	-
Kompoststreuer	21	6	33*	-	-	-
Keine Ausbringung	21	3	-			
Ausbringmenge in m ³ /ha	21	-	-	26	10	65
Einarbeitung nach Ausbringung	21	6	40	-	-	-

* Anteil angegeben in Prozent der Betriebe, welche Feststoffe ausbringen.

Die Feststoffe wurden von etwa der Hälfte der Betriebe auf Grasland ausgebracht (11 Nennungen; 52 % der Nennungen; Tabelle 23). Die andere Hälfte setzte die Feststoffe im Ackerbau ein. Als Kulturen wurden Getreide, Mais, Hackfrüchte, andere Kulturen wie Gemüsebau sowie Stoppeln genannt. Im Vergleich ist die gesamtschweizerische Verteilung von Stapelmist wie folgt: Grasland inkl. Zwischenfutter: 43 %; Getreide: 9 %, Mais: 26 %, andere Ackerkulturen 12 % und Stoppeln: 10 % HAFL, unveröffentlichte Daten). Die Verteilung von Stapelmist ist demnach vergleichbar mit derjenigen von Feststoffen. 6 Betriebe arbeiteten die Feststoffe nach der Ausbringung ein.

Tabelle 23: Ausbringung der Feststoffe nach Kulturen. Anzahl Nennungen (N) und Prozentanteil der Nennungen; n: Anzahl Antworten

	n	N	%
Grasland	21	11	52
Getreide	21	1	4
Mais	21	5	24
Hackfrüchte	21	2	10
Andere Kulturen	21	3	14
Stoppeln	21	3	14

3.2.2.6 Erfahrungen der Betriebsleiter im Zusammenhang mit der Separierung von Gülle

Die befragten Betriebsleiter waren zu über 90 % zufrieden oder sehr zufrieden mit der Separierung von Gülle (Tabelle 24). Als grösster Vorteil wurde die Ausbringung genannt (total 17 Nennungen, davon 14 in erster Priorität; Tabelle 25). Die Vorteile beziehen sich auf die Handhabung der Gülle, v.a. im Zusammenhang mit dem Schleppschlauchverteiler, die Vermeidung von Streifen, besseres Eindringen der Gülle in den Boden, Vermeiden von Futterverschmutzung. An zweiter Stelle steht die Gewinnung von Einstreue (total 8 Nennungen, davon 5 in erster Priorität). Die Verwendung der Feststoffe als Einstreue erlaube es, dauerhafte und für das Tierwohl vorteilhafte Matratzen zu produzieren, Kosten für die Einstreue zu sparen und Verstopfungen von Spaltenböden und Kanälen zu reduzieren durch Reduktion des Einsatzes von Kurz- oder Langstroh. An dritter Stelle steht besseres Wachstum im Futterbau (total 6 Nennungen, davon keine in erster Priorität). Die Reduktion von Ammoniakemissionen wurde ebenfalls als Vorteil wahrgenommen. Darauf folgen an fünfter Stelle Vorteile bei der Lagerung der Gülle bzw. beim Betrieb des Rührwerks. Weitere von jeweils einem Betrieb genannte Vorteile sind in Tabelle 25 aufgeführt. Lediglich ein Teilnehmer der Befragung, ein Betreiber einer Vergärungsanlage, die als Gesamtpaket inkl. Separator eingerichtet wurde, sah für seinen Betrieb keine Vorteile (Ausbringung der Gärgülle auch ohne Separierung möglich).

Tabelle 24: Zufriedenheit der Betriebe allgemein im Zusammenhang mit der Gülleseparierung: Anzahl Nennungen (N); n: Anzahl Antworten

	n	N	%
Sehr zufrieden	22	3	14
Zufrieden	22	17	77
Mässig zufrieden	22	2	9

Tabelle 25: Vorteile der Gülleseparierung aus der Sicht der befragten Betriebe; Anzahl Nennungen in abnehmender Priorität 1, 2, 3, 4; n: Anzahl Antworten

		n	Nennungen				Total	%
			1	2	3	4		
1.	Ausbringung	21	14	3	0	0	17	38
2.	Gewinnung Einstreue	21	5	2	0	1	8	18
3.	Besseres Wachstum im Futterbau	21	0	5	1	0	6	13
4.	Reduktion Ammoniakemissionen	21	0	3	1	0	4	9
5.	Lagerung Gülle/Betrieb Rührwerk	21	0	2	0	0	2	4
6.	Anwendung kompostierte Feststoffe im Futterbau	21	1	0	0	0	1	2
7.	Notwendig für Betrieb der Vergärungsanlage	21	1	0	0	0	1	2
8.	Arbeitseinsparung beim Ausmisten	21	0	1	0	0	1	2
9.	Stickstoff Wirksamkeit	21	0	1	0	0	1	2
10.	Verkauf der Feststoffe	21	0	1	0	0	1	2
11.	Produktion von „Mist“ für Ackerbau	21	0	0	1	0	1	2
12.	Weniger Lagervolumen für Gülle nötig	21	0	0	1	0	1	2
	Total		21	18	4	1	45	100

Als Nachteile der Separierung von Gülle wurden vom grössten Teil der Betriebsleiter Kosten, Aufwand, Unterhalt und Energieverbrauch wahrgenommen (Tabelle 26). Weitere Nachteile betreffen die Zuverlässigkeit und die Regulierung der Anlage sowie Mehraufwand bei der Ausbringung der Hofdünger. 5 Betriebe nannten keine Nachteile.

Tabelle 26: Nachteile der Gülleseparierung aus der Sicht der befragten Betriebe; Anzahl Nennungen 1 bis 3; n: Anzahl Antworten

		n	1	2	3	Total	%
1.	Kosten	17	14	0	0	14	52
2.	Aufwand	17	1	2	1	4	15
3.	Unterhalt	17	0	2	0	2	7
4.	Energieverbrauch	17	0	1	1	2	7
5.	Zuverlässigkeit gering	17	0	1	0	1	4
6.	Verschleiss	17	0	1	0	1	4
7.	Mehraufwand bei Ausbringung der Hofdünger	17	0	1	0	1	4
8.	Regulierung des Separators problematisch	17	1	0	0	1	4

3.2.2.7 Gründe für Ausstieg aus Separierung

Zur Abschätzung der künftigen Verbreitung der Separierung von Gülle kann neben der Befragung von Betrieben, welche diese Technologie anwenden, die Analyse der Ursachen des Ausstiegs betragen. Dazu wurde ein Vertreter einer Genossenschaft befragt, welche eine mobile Anlage für ihre Mitglieder betrieben und diese aufgelöst hatte. Die Genossenschafter waren Betriebe mit hoher Tierdichte. Ihre Hauptmotivation für die Separierung zielte auf den Export von Nährstoffen und auf eine Verbesserung der Flexibilität bei Lagerung und Ausbringung von Gülle zusätzlich zu den vorhandenen Gülleabnahmeverträgen.

Zu Beginn war die Separierung für die Genossenschafter verhältnismässig kostengünstig. Da der Separator aufgrund des überbetrieblichen Einsatzes mit zahlreichen elektronischen Steuerungselementen ausgerüstet war, erwiesen sich die Kosten für Unterhalt und Reparaturen als relativ hoch. Gleichzeitig hatten sich mit der Zeit die Voraussetzungen zur Wegfuhr von Hofdüngern aufgrund von Betriebsaufgaben in der Region etwas verbessert, weshalb die Landwirte weniger stark auf den Export von Nährstoffen über grössere Distanzen angewiesen waren. Damit wurde der Transport von unbehandelter Gülle anstelle von Feststoffen aus finanzieller Sicht interessant. Dazu kam, dass der Aufwand zum Einrichten und den Betrieb der Maschine recht gross war. Die Separierung funktionierte nur bei Gülle mit hohem TS-Gehalt gut. Bei Betrieben, welche aufgrund von beschränkten Möglichkeiten zur Güllelagerung die Dünngülle zurück ins Lager der unbehandelten Gülle leiten mussten, war die Leistung des Separators eingeschränkt. Dasselbe galt bei Verwendung von Zusätzen, welche den Abbau von organischer Substanz in der Gülle förderten.

Gemäss Angaben von Herstellern scheint die Nachfrage von Separatoren für den überbetrieblichen Einsatz begrenzt zu sein. Weiter stellt das Verbot der Einstreue basierend auf Feststoffen bei Lieferanten von Käsereimilch Gruyère AOC² und Appenzeller AOC ein gewisses Hindernis für die Verbreitung der Gülleseparierung dar.

² Le Gruyère AOC. Leitfaden der guten Herstellungspraxis, 2012
http://www.gruyere.com/uploads/files/Guide_BP_GruyereAOC_02.07.2012_D.pdf

4. Schätzung der N-Flüsse und Ammoniakemissionen bei Separierung

4.1 Grundlagen und Vorgehen

Wie erwähnt in Kap. 2.9 ist aufgrund der vorliegenden Versuchsergebnisse eine eindeutige Aussage zur Wirksamkeit der Gülleseparierung bezüglich Reduktion der Emissionen von Ammoniak nicht möglich. Im vorliegenden Abschnitt werden die Verteilung von N_{tot} und von TAN in die Dünngülle und die Feststoffe modelliert und darauf basierend die resultierenden Gesamtemissionen der Separierung mit der Referenz ohne Separierung verglichen. Dieser Vergleich bildet eine zusätzliche Grundlage, um beurteilen zu können, ob die Gülleseparierung wie angewendet in der Schweiz zur Emissionsminderung von Ammoniak beiträgt. Die Modellierung berücksichtigt folgende, gemäss Erhebung (Kap. 3) häufig vorkommenden Varianten: (A) Separierung von Rindvieh- oder Schweinegülle und Ausbringung von Dünngülle und Feststoffen, (B) Separierung von Rindviehgülle, Ausbringung der Dünngülle und Verwendung der Feststoffe als Einstreue.

Die Berechnungen beziehen sich auf 1000 kg N_{tot} von Gülle eingangs Separierung. Die Flüsse von N_{tot} und TAN sowie die Emissionen wurden aufgrund des Separierungsindex für N_{tot} , des Verhältnisses von TAN zu N_{tot} in der Dünngülle und den Feststoffen sowie den Emissionsraten für Gülle und Mist auf den Stufen Lager und Ausbringung geschätzt. Die für die Berechnung verwendeten Parameter sind in Tabelle 27 aufgeführt. Sie basieren auf Literaturdaten und daraus abgeleitete Annahmen sowie den Grundlagen des Emissionsmodells Agrammon (Kupper, Menzi, 2013).

Tabelle 27: Parameter für die Berechnung der TAN-Flüsse und der Ammoniakemissionen bei Anwendung der Separierung von Rindviehvollgülle (RVG) und von Schweinegülle (SG) mittels Schraubenpresse

	RVG	Bemerkungen	SG	Bemerkungen
Separierungsindex	15 % N _{tot}	Hjorth et al. (2010)	15 % N _{tot}	Hjorth et al. (2010)
Anteil TAN				
Gülle	50 % N _{tot}	Amon et al. (2006), Fanguero et al. (2008), Gilkinson, Frost (2007), Mosquera et al. (2010), Balsari et al. (2008), Daten der befr. Betriebe	70 % N _{tot}	Gilkinson, Frost (2007), Mosquera et al. (2010), Popovic et al. (2012)
Dünngülle	47 % N _{tot} [*]		68 % N _{tot} [*]	
Feststoffe	38 % N _{tot}		47 % N _{tot}	
Emissionsraten				
Lager Gülle	25 % TAN	Hergeleitet aus Kupper, Menzi (2013)**	20 % TAN	Hergeleitet aus Kupper, Menzi (2013)**
Lager Dünngülle	29 % TAN	Wie Lager Gülle unter Annahme einer Zunahme der Emissionen um 15 % (hergeleitet aus den Werten von Tabelle 5)	41 % TAN	Wie Lager Gülle unter Annahme einer Zunahme der Emissionen um 23 % (basierend auf Mosquera et al., 2010)
Lager Feststoffe	30 % TAN	Annahme: wie Kupper, Menzi (2013) für Festmist; keine Immobilisierung von TAN***	50 % TAN	Annahme: wie Kupper, Menzi (2013) für Festmist; keine Immobilisierung von TAN***
Verwendung Feststoffe als Einstreue	75 % N _{tot}	Annahme gemäss Webb et al. (2012) und Martins, Dewes (1992)	-	-
Ausbringung Gülle	50 % TAN	Kupper, Menzi (2013)	35 % TAN	Kupper, Menzi (2013)
Ausbringung Dünngülle	25 % TAN	Annahme: Reduktion der Emissionen um 50 % (vgl. auf Tabelle 9)	18 % TAN	Annahme: Reduktion der Emissionen um 50 % (vgl. Tabelle 9)
Ausbringung Feststoffe	80 % TAN	Annahme: wie Mist von Rindvieh (Kupper, Menzi, 2013)	60 % TAN	Annahme: wie Mist von Schweinen (Kupper, Menzi, 2013)

* Berechnete Werte; gute Übereinstimmung mit Werten gemäss Literatur ausser Dünngülle SG (Wert zu tief).

** Grundlagen: produzierte Güllemenge gemäss Fleisch et al. (2009), Verdünnung 1:1.2, Lagerdauer: 5 Monate ($\approx$ erforderliches Lagervolumen: 51 m³ pro Milchkuh, 3.5 m³ pro Mastschwein); durchschnittliche Lagertiefe: 3 m: ungedeckter Lagerbehälter, keine Mobilisierung von organischem N während Lagerung zu TAN (Mobilisierung von 10 % organischem N während Lagerung von Gülle gemäss Kupper, Menzi, 2013).

*** Annahme: engeres C:N-Verhältnis in Feststoffen im Vergleich zu Festmist und daher keine Immobilisierung von TAN (Immobilisierung 40 % TAN während Lagerung von Festmist gemäss Kupper, Menzi, 2013).

Zusätzlich zu den Berechnungen basierend auf den in Tabelle 27 aufgeführten Parametern wurden weitere Szenarien gerechnet: Mineralisierung von N_{tot} zu TAN bei der Lagerung von Feststoffen, Emissionen während des Separierungsprozesses, Einsatz Schleppschlauch nur für Dünngülle möglich.

4.2 Resultate

Die modellierten Flüsse von N_{tot} und TAN-sowie die Ammoniakemissionen auf den Stufen Lager und Ausbringung sowie die Gesamtemissionen bei der Separierung von Rindviehvollgülle und Schweinegülle sind in Tabelle 28 und Tabelle 29 dargestellt. Die Berechnung bezieht sich auf Variante A (Separierung von Rindvieh- oder Schweinegülle und Ausbringung von Dünngülle und Feststoffen). Die Feststoffe enthalten rund 10 % des TAN eingangs Separierung. Die Emissionen stammen bei der Separierung zu über 80 % aus der Dünngülle bzw. zu rund 60 % aus der Stufe Lager und 40 % aus der Stufe Ausbringung. Die Emissionen des Referenzverfahrens unbehandelte Gülle lassen sich zu rund 40 % der Lagerung und zu 60 % der Ausbringung zuordnen. Bei Rindviehvollgülle resultiert eine Emissionsminderung von 15 % und für Schweinegülle von 10 % im Vergleich zur Referenz ohne Separierung.

Tabelle 28: Flüsse von N_{tot} und TAN-sowie Ammoniakemissionen bei der Separierung von Rindviehvollgülle im Vergleich zu unbehandelter Gülle (Parameter gemäss Tabelle 27). Bezugsgrösse: 1000 kg N_{tot} in Gülle eingangs Separierung

	N _{tot}			TAN		
	Gülle	Dünngülle	Feststoffe	Gülle	Dünngülle	Feststoffe
Input Separierung (Fluss in kg N)	1000	850	150	500	443	57
Emission Lager (kg N)	125	127	17	125	127	17
Gülle und $\sum$ Dünngülle,Feststoffe (kg N)	125	144		125	144	
Input Ausbringung (Fluss in kg N)	875	723	133	375	316	40
Gülle und $\sum$ Dünngülle,Feststoffe (Fl. in kg N)	875	856		375	356	
Emission Ausbringung (kg N)	188	89	32	188	89	32
Gülle und $\sum$ Dünngülle,Feststoffe (kg N)	188	121		188	121	
Input Boden (Fluss in kg N)	688	634	101	188	227	8
Gülle und $\sum$ Dünngülle,Feststoffe (Fl. in kg N)	688	735		188	235	
Emission total (kg N)	313	216	49	313	216	49
Gülle und $\sum$ Dünngülle,Feststoffe (kg N)	313	265		313	265	
Emissionen von $\sum$ Dünngülle,Feststoffe im Vergleich zu unbehandelter Gülle: 85 %						

Für Schweinegülle stehen die Resultate im Einklang mit denjenigen von Hutchings et al. (2013), welche bei Separierung leicht niedrigere Emissionen im Vergleich zur Referenz berechnet hatten. Insbesondere für Rindviehgülle besteht aber ein Widerspruch zu Versuchen, welche eine Emissionszunahme zeigten (vgl. Kap. 2.6.1). Als Ursache kommen Abweichungen zwischen den gewählten Parametern gemäss Tabelle 27 und den in den Versuchen gemessenen Werten in Frage. Werden beispielsweise um 20 % höhere Werte für die Anteile von TAN in Dünngülle und Feststoffen, für Separierungsindex und Emissionsraten angenommen, was innerhalb einer üblichen Streuung liegt, resultieren für Dünngülle und Feststoffe höhere Emissionen als für unbehandelte Gülle. Den grössten Einfluss hat dabei die Emissionsrate für Dünngülle. Wird für die Dünngülle von Rindvieh beispielsweise eine Emissionsrate von 38 % TAN anstelle von 25 % TAN angenommen, unterscheiden sich die Emissionen zwischen unbehandelter Gülle und Dünngülle/Feststoffen nicht.

Weiter erscheint eine Emissionsrate aus der Lagerung der Feststoffe von deutlich grösser als 30 % TAN (vgl. Tabelle 27) als möglich. In der Befragung berichteten die meisten Betriebsleiter von ei-

ner Erwärmung des Feststofflagers. Man kann davon ausgehen, dass die Temperaturen in den Lagern mit denjenigen der Kompostierung von Mist vergleichbar sind. Dies trifft insbesondere auf diejenigen Betriebe zu, welche die Feststoffe vor der Ausbringung kompostieren. Webb et al. (2013) berichten von Verlusten von bis zu 77 % von N_{tot} bei Kompostierung von Festmist. Würde für das Lager der Feststoffe eine Emissionsrate von 75 % von N_{tot} unter Beibehaltung der übrigen Parameter gemäss Tabelle 27 angenommen, fielen bei Separierung von Rindviehvollgülle und von Schweinegülle höhere Emissionen im Vergleich zur unbehandelten Gülle an. Eine Emissionsrate für Feststoffe von deutlich über 30 % TAN ist bei Verwendung als Einstreue wahrscheinlich (Variante (B) Separierung von Rindviehgülle, Ausbringung der Dünngülle und Verwendung der Feststoffe als Einstreue). Diese dürfte bei Verwendung von Kalk weiter zunehmen, da dadurch der pH erhöht wird. Wie oben ausgeführt, würden unter Annahme einer Emissionsrate von 75 % von N_{tot} die Verluste bei Anwendung der Separierung von Rindviehgülle höher ausfallen als diejenigen der Referenz. Bei Einsatz der Feststoffe als Einstreue erscheint dies als wahrscheinlich.

Tabelle 29: Flüsse von N_{tot} und TAN-sowie Ammoniakemissionen bei der Separierung von Schweinegülle im Vergleich zu unbehandelter Gülle (Parameter gemäss Tabelle 27). Bezugsgrösse: 1000 kg N_{tot} in Gülle eingangs Separierung

	N _{tot}			TAN		
	Gülle	Dünngülle	Feststoffe	Gülle	Dünngülle	Feststoffe
Input Separierung (Fluss in kg N)	1000	850	150	700	629	71
Emission Lager (kg N)	140	155	36	140	155	36
<i>Gülle und ΣDünngülle,Feststoffe (kg N)</i>	<i>140</i>	<i>190</i>		<i>140</i>	<i>190</i>	
Input Ausbringung (Fluss in kg N)	860	695	114	560	474	36
<i>Gülle und ΣDünngülle,Feststoffe (Fl. in kg N)</i>	<i>860</i>	<i>810</i>		<i>560</i>	<i>510</i>	
Emission Ausbringung (kg N)	196	89	21	196	89	21
<i>Gülle und ΣDünngülle,Feststoffe (kg N)</i>	<i>196</i>	<i>111</i>		<i>196</i>	<i>111</i>	
Input Boden (Fluss in kg N)	664	606	93	364	385	14
<i>Gülle und ΣDünngülle,Feststoffe (Fl. in kg N)</i>	<i>664</i>	<i>699</i>		<i>364</i>	<i>399</i>	
Emission total (kg N)	336	244	57	336	244	57
<i>Gülle und ΣDünngülle,Feststoffe (kg N)</i>	<i>336</i>	<i>301</i>		<i>336</i>	<i>301</i>	
Emissionen von Σ Dünngülle,Feststoffe im Vergleich zu unbehandelter Gülle: 90 %						

Verschiedene Studien, zusammengestellt von Webb et al. (2012), haben gezeigt, dass während der Lagerung von Festmist bis zu 30 % von N_{tot} zu TAN mineralisieren kann. Dies tritt vor allem bei niedrigem C:N-Verhältnis auf, wie es in Feststoffen vorkommt. Wird für die Lagerung von Feststoffen eine Mineralisierungsrate von 30 % angenommen, entstehen bei Separierung von Rindviehgülle und von Schweinegülle etwa gleich viel Emissionen wie bei unbehandelter Gülle. Mineralisierung von N_{tot} zu TAN könnte auch bei Verwendung der Feststoffe als Einstreue auftreten, wenn kein oder wenig Stroh zugemischt wird.

Gemäss Beobachtungen aus der Praxis (starker Ammoniakgeruch bei Separierung in geschlossenen Anlagen) kann man davon ausgehen, dass während der Separierung ein Teil des Stickstoffs als Ammoniak verloren geht. Wird eine Emissionsrate von 10 % während der Separierung angenommen, würde unter Beibehaltung der übrigen Parameter gemäss Tabelle 27 bei Rindviehvollgülle eine Emissionsminderung bei Anwendung der Separierung von 8 % und bei Schweinegülle eine Zunahme um ca. 1 % im Vergleich zu unbehandelter Gülle resultieren.

Die oben aufgeführten Resultate (Tabelle 28, Tabelle 29) verändern sich zugunsten der Separierung, wenn die unbehandelte Gülle und die Dünngülle nicht in einem ungedeckten Güllager sondern in einem Lagerbehälter mit fester Abdeckung gelagert werden. Das Gegenteil trifft zu bei

Verwendung des Schleppschauchverteilers für die unbehandelte Gülle und die Dünngülle. Ein deutlicher Vorteil resultiert für die Separierung, wenn die Gülle vor und nach der Separierung in einem Behälter mit fester Abdeckung gelagert wird, die Ausbringung der unbehandelten Gülle nur mittels Breitverteiler möglich ist (z.B. weil die Schläuche des Schleppschauchverteilers bei Gülle mit hohem TS-Gehalt verstopfen), und die Dünngülle mittels Schleppschauchverteiler ausgebracht wird.

5. Schlussfolgerungen

5.1 Kenntnisstand

Aufgrund der Daten aus der Literatur lassen sich hinsichtlich Emissionsminderung von Ammoniak und Treibhausgase keine eindeutigen Tendenzen ableiten. In drei Studien, welche die Kette Lagerung und Ausbringung im Pilotmassstab untersucht haben (Amon et al., 2002, 2006; Dinuccio et al., 2012) führte die Separierung zu tendenziell höheren Emissionen als unbehandelte Gülle. Bezüglich Treibhausgase fanden Amon et al. (2002, 2006) eine Reduktion und Dinuccio et al. (2011) eine Zunahme der CO₂ Äquivalente. Als gesichert erscheint die Emissionsminderung für Ammoniak bei Ausbringung von Dünngülle im Vergleich zu unbehandelter Gülle und Mehremissionen während der Lagerung, wenn die Feststoffe kompostiert werden. Mosquera et al. (2010) fanden für die Niederlande bei einem Anteil von 25 % Separierung der gesamten Güllemenge keine Reduktion der Gesamtemissionen von Ammoniak. Für Treibhausgase gehen sie von leicht tieferen Emissionen aus. Die Modellrechnungen von Hutchings et al. (2013) für Betriebe mit Mastschweinen zeigten für die Variante Separierung mittels Schraubenpresse und Ausbringung der flüssigen und festen Phase nur geringe Unterschiede bezüglich Ammoniakemissionen im Vergleich zur Referenz ohne Separierung.

Die Erhebung der Praxis der Separierung in der Schweiz und Modellrechnungen lieferten folgende Resultate, welche auf Mehremissionen hindeuten: (i) Leicht grösseres Lagervolumen pro GVE der Summe der Lager für Gülle und Dünngülle im Vergleich zu Güllelagern von Betrieben ohne Separierung; etwas mehr als die Hälfte des Lagervolumens entfällt auf die Dünngülle. (ii) Die Verwendung der Feststoffe als Einstreue, welche vermutlich für die feste Fraktion hohe Emissionen generiert, ist weit verbreitet. Dasselbe gilt für die Kompostierung der Feststoffe, welche ebenfalls vorkommt. Andere mögliche Faktoren, welche Mehremissionen begünstigen, wie der überproportional hohe Anteil von ungedecktem Lagervolumen treffen nicht spezifisch auf Betriebe mit Separierung sondern generell auf grosse Betriebe zu. So weisen Betriebe mit einem oder mehreren offenen Güllelagerbehältern im Mittel ein um ca. 30 % grösseres Lagervolumen für Gülle und um etwa 30 % mehr GVE auf als Betriebe ohne offene Lagerbehälter.

Neu erstellte Lager für Dünngülle haben oft kein fest installiertes Rührwerk. Mehremissionen aufgrund der fehlenden Schwimmschicht dürften zumindest teilweise durch weniger häufiges Aufrühren des Lagers von Dünngülle kompensiert werden. Wenn Dünngülle in einem Behälter mit perforierter Abdeckung gelagert und diese gleichzeitig als Laufhöffläche benutzt wird, ist ebenfalls nicht zwingend mit Mehremissionen zu rechnen, da sich die Bildung einer Schwimmschicht durch den ständigen Eintrag von Exkrementen ohnehin reduziert.

Modellrechnungen, welche die Produktionstechnik im Zusammenhang mit der Separierung in der Schweiz berücksichtigen, führen nur für gewisse Szenarien zu Mehremissionen. Bei Separierung von Schweinegülle ist im Vergleich zu Rindviehgülle eher mit höheren Emissionen zu rechnen. Ein deutlicher Vorteil resultiert für die Separierung, wenn der Einsatz eines Schleppschauchverteilers nur nach Separierung der Gülle, nicht aber für die unbehandelte Gülle möglich ist.

Insgesamt dürfte die Gülleseparierung wie angewendet in der Schweiz nicht wesentlich zur Emissionsminderung von Ammoniak beitragen. Aufgrund des aktuellen Kenntnisstands ist jedoch auch nicht mit signifikanten Mehremissionen zu rechnen. In Europa gibt es momentan kein Land, welche die Gülleseparierung wie praktiziert in der Schweiz als emissionsmindernde Massnahme betrachtet und anerkennt.

5.2 Forschungsbedarf

Die Datenlage ist insgesamt schmal und zwar hinsichtlich Analysedaten von N_{tot} und TAN der Produkte der Gülleseparierung als auch bezüglich Emissionsmessungen. Zwar sind verschiedene Studien verfügbar (vgl. Hjorth et al., 2010; Mosquera et al., 2010). Die Resultate verteilen sich auf verschiedene Güllearten und Verfahren (v.a. Zentrifuge, Schraubenpresse, Verwendung von Flockungshilfsmitteln), welche zu Endprodukten mit stark unterschiedlichen Eigenschaften und Emissionspotential führen. Für das in der Schweiz vorherrschende Verfahren (Schraubenpresse) sind nur wenige Datensätze vorhanden. In den wenigsten Fällen wurden die Emissionen gesamthaft über die Emissionsstufen Lagerung und Ausbringung erfasst. Messungen der Emissionen bei Verwendung der Feststoffe als Einstreue sind nicht verfügbar, ebenso wenig wie Resultate zu Emissionen während der Separierung.

Zur Verbesserung der Kenntnisse hinsichtlich Gülleseparierung mittels Schraubenpresse sind zusätzliche Untersuchungen erforderlich:

- Analysen von unbehandelter Gülle, Dünngülle und Feststoffen, Erfassung der Mengen und der Massenflüsse von Nährstoffen
- Emissionsmessungen von Lagerung und/oder Ausbringung von Dünngülle und Feststoffen im Vergleich zur unbehandelten Gülle (Ammoniak und Treibhausgase)
- Emissionsmessungen während des Betriebs des Separators (Ammoniak und Treibhausgase)

Dabei ist zu berücksichtigen, dass Messungen der ganzen Kette Lagerung und Ausbringung sehr aufwändig und anspruchsvoll sind. Entsprechende Messungen auf Praxisbetrieben wären vermutlich nur mit Verwendung von Tracergasen machbar.

Mit relativ geringem Aufwand sind Untersuchungen zu Emissionen der Ausbringung von Dünngülle und Feststoffen im Vergleich zur unbehandelten Gülle mittels Windtunneln semiquantitativ möglich. Ebenso lassen sich Feldversuche zur quantitativen Messung (Bestimmung von Emissionsraten) mittels low Cost Samplern ohne vorgängige methodische Arbeiten durchführen. Vor der Lancierung solcher Messungen sollte geprüft werden, ob der Aufwand angesichts der geringen Bedeutung dieses Verfahrens gerechtfertigt ist (ca. 1 % des N-Flusses der Tierproduktion durchläuft den Prozess Separierung). Im Zusammenhang mit der Erstellung eines nationalen Emissionsinventars kann die Separierung von Gülle gegenwärtig vernachlässigt werden.

6. Literatur

- Agridea, BLW. 2013. Weisungen zur Handhabung von Vergärungsprodukten in der Suisse-Bilanz Zusatzmodul 8 zur Suisse-Bilanz, Auflage 1.1, September 2013. Agridea, Lindau. Bundesamt für Landwirtschaft, BLW, Bern.
- Amon, B., Kryvoruchko, V., Amon, T., Zechmeister-Boltenstern, S. 2006. Methane, nitrous oxide and ammonia emissions during storage and after application of dairy cattle slurry and influence of slurry treatment. *Agric. Ecosyst. Environ.* 112(2-3): 153-162.
- Amon, B., Moitzi, G., Schimpl, M., Kryvoruchko, V., Wagner-Alt, C. 2002. Methane, nitrous oxide and ammonia emissions from management of liquid manures. Final report. Vienna: Universität für Bodenkultur. Institut für Land-, Umwelt- und Energietechnik.
- Kupper, T. Menzi, H. 2013. Technische Parameter Modell Agrammon. URL: <http://agrammon.ch/downloads> (21.02.2014).
- Balsari, P., Dinuccio, E., Santoro, E., Gioelli, F. 2008. Ammonia emissions from rough cattle slurry and from derived solid and liquid fractions applied to alfalfa pasture. *Aust. J. Exp. Agric.* 48(1-2): 198-201.
- Bertora, C., Alluvione, F., Zavattaro, L., Van Groenigen, J.W., Velthof, G., Grignani, C. 2008. Pig slurry treatment modifies slurry composition, N₂O, and CO₂ emissions after soil incorporation. *Soil Biol. Biochem.* 40(8): 1999-2006.
- BFS. 2013. Schweizer Landwirtschaft Taschenstatistik 2013. Bundesamt für Statistik, Neuchâtel Schweiz.
- Bhandral, R., Bittman, S., Kowalenko, G., Buckley, K., Chantigny, M.H., Hunt, D.E., Bounaix, F., Friesen, A. 2009. Enhancing soil infiltration reduces gaseous emissions and improves N uptake from applied dairy slurry. *J. Environ. Qual.* 38(4): 1372-1382.
- Bittman, S., Hunt, D.E., Kowalenko, C.G., Chantigny, M., Buckley, K., Bounaix, F. 2011. Removing solids improves response of grass to surface-banded dairy manure slurry: a multiyear study. *J. Environ. Qual.* 40(2): 393-401.
- Chantigny, M.H., Angers, D.A., Rochette, P., Belanger, G., Masse, D., Cote, D. 2007. Gaseous nitrogen emissions and forage nitrogen uptake on soils fertilized with raw and treated swine manure. *J. Environ. Qual.* 36(6): 1864-1872.
- Chantigny, M.H., MacDonald, J.D., Beaupre, C., Rochette, P., Angers, D.A., Masse, D., Parent, L.E. 2009. Ammonia volatilization following surface application of raw and treated liquid swine manure. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 85(3): 275-286.
- Dinuccio, E., Berg, W., Balsari, P. 2008. Gaseous emissions from the storage of untreated slurries and the fractions obtained after mechanical separation. *Atmos. Environ.* 42(10): 2448-2459.
- Dinuccio, E., Berg, W., Balsari, P. 2011. Effects of mechanical separation on GHG and ammonia emissions from cattle slurry under winter conditions. *Anim. Feed Sci. Technol.* 166-67: 532-538.
- Dinuccio, E., Gioelli, F., Balsari, P., Dorno, N. 2012. Ammonia losses from the storage and application of raw and chemo-mechanically separated slurry. *Agric. Ecosyst. Environ.* 153: 16-23.
- Fangueiro, D., Senbayram, M., Trindade, H., Chadwick, D. 2008. Cattle slurry treatment by screw press separation and chemically enhanced settling: Effect on greenhouse gas emissions after land spreading and grass yield. *Bioresour. Technol.* 99(15): 7132-7142.
- Flisch, R., Sinaj, S., Charles, R., Richner, W. 2009. Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau - Kapitel 11-14. *Agrarforschung* 16(2): 50-71.
- Gilkinson, S., Frost, P. 2007. Evaluation of mechanical separation of pig and cattle slurries by a decanting centrifuge and a brushed screen separator, Agri-Food and Biosciences Institute, Hillsborough, Northern Ireland. <http://www.afbini.gov.uk/index/services/services-specialist-advice/sa-slurry-separation/sa-slurry-separation-pdf-summary.htm> (11.03.2014)

- Hansen, M.N., Henriksen, K., Sommer, S.G. 2006. Observations of production and emission of greenhouse gases and ammonia during storage of solids separated from pig slurry: Effects of covering. *Atmos. Environ.* 40(22): 4172-4181.
- Hjorth, M., Christensen, K.V., Christensen, M.L., Sommer, S.G. 2010. Solid-liquid separation of animal slurry in theory and practice. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 30(1): 153-180.
- Hjorth, M., Nielsen, A.M., Nyord, T., Hansen, M.N., Nissen, P., Sommer, S.G. 2009. Nutrient value, odour emission and energy production of manure as influenced by anaerobic digestion and separation. *Agron. Sustain. Dev.* 29(2): 329-338.
- Hutchings N.J., ten Hoeve M., Jensen R., Bruun S., Sotoft L.F. 2013. Modelling the potential of slurry management technologies to reduce the constraints of environmental legislation on pig production. *J. Environ. Manage.* 130: 447-456.
- Kupper, T., Bonjour, C., Achermann, B., Rihm, B., Zaucker, F., Menzi, H. 2013. Ammoniakemissionen in der Schweiz: Neuberechnung 1990-2010. Prognose bis 2020. Berner Fachhochschule. Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften, Zollikofen.
- Martins O., Dewes T. 1992. Loss of nitrogenous compounds during composting of animal wastes. *Bioresour. Technol.* 42(2): 103-111.
- Mattila, P.K., Joki-Tokola, E. 2003. Effect of treatment and application technique of cattle slurry on its utilization by ley: I. Slurry properties and ammonia volatilization. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 65(3): 221-230.
- Meier, U. 1994. Güllenseparierung. Eine Technik zur Verbesserung der Gülleeigenschaften. FAT Bericht Nr. 445.
- Monaco, S., Sacco, D., Pelissetti, S., Dinuccio, E., Balsari, P., Rostami, M., Grignani, C. 2012. Laboratory assessment of ammonia emission after soil application of treated and untreated manures. *J. Agric. Sci.* 150(1): 65-73.
- Mosquera, J., Schils, R.L.M., Groenestein, C.M., Hoeksma, P., Velthof, G., Hummelink, E. 2010. Emissions of nitrous oxide, methane and ammonia from manure after separation. Rapport 427, Lelystad. Rapport 387 (in Dutch). Wageningen, The Netherlands: Livestock Research, Wageningen UR.
- Nyord, T., Hansen, M.N., Birkmose, T.S. 2012. Ammonia volatilisation and crop yield following land application of solid-liquid separated, anaerobically digested, and soil injected animal slurry to winter wheat. *Agric. Ecosyst. Environ.* 160: 75-81.
- O'Shea, C.J., Lynch, B., Lynch, M.B., Callan, J.J., O'Doherty, J.V. 2009. Ammonia emissions and dry matter of separated pig manure fractions as affected by crude protein concentration and sugar beet pulp inclusion of finishing pig diets. *Agric. Ecosyst. Environ.* 131(3-4): 154-160.
- Perazzolo, F., Mattachini, G., Finzi, A., Provolo, G. 2013. Effect of mechanical separation of digested slurry on greenhouse gas and ammonia emissions during storage. In: RAMIRAN 2013 – Recycling of organic residues for agriculture: from waste management to ecosystem services, 15th-International Conference, Versailles, France.
- Petersen, J., Sorensen, P. 2008. Loss of nitrogen and carbon during storage of the fibrous fraction of separated pig slurry and influence on nitrogen availability. *J. Agric. Sci.* 146: 403-413.
- Petersen, J., Sorensen, P. 2008. Loss of nitrogen and carbon during storage of the fibrous fraction of separated pig slurry and influence on nitrogen availability. *J. Agric. Sci.* 146: 403-413.
- Popovic O., Hjorth M., Jensen L.S. 2012. Phosphorus, copper and zinc in solid and liquid fractions from full-scale and laboratory-separated pig slurry. *Environ Technol* 33(18): 2119-2131.
- Popovic, O., Jensen, L.S. 2012. Storage temperature affects distribution of carbon, VFA, ammonia, phosphorus, copper and zinc in raw pig slurry and its separated liquid fraction. *Water Res* 46(12): 3849-3858.

- Sommer S.G., Jensen L.S., Clausen S.B., Sogaard H.T. 2006. Ammonia volatilization from surface-applied livestock slurry as affected by slurry composition and slurry infiltration depth. *J. Agric. Sci.* 144: 229-235.
- Sorensen, P., Thomsen, I.K. 2005. Separation of pig slurry and plant utilization and loss of nitrogen-15-labeled slurry nitrogen. *Soil Sci Soc Am J* 69(5): 1644-1651.
- Webb, J., Sommer, S.G., Kupper, T., Groenestein, C.M., Hutchings, N., Eurich-Menden, B., Rodhe, L., Misselbrook, T., Amon, B. 2012. Emissions of ammonia, nitrous oxide and methane during the management of solid manures. A review. In: Lichtfouse, E., (eds.). *Agroecology and Strategies for Climate Change*. Heidelberg, Germany: Springer-Verlag GmbH. pp 67-108.

7. Verdankungen

Diese Studie wurde vom Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abteilung Luftreinhaltung und Chemikalien, Sektion Luftqualität, finanziert. Den Betriebsleitern und den Firmen, welche an der Befragung teilgenommen haben, sei herzlich gedankt. Ohne ihre Mitarbeit wäre die Durchführung der vorliegenden Arbeit nicht möglich gewesen. Ein spezieller Dank richtet sich an die Firmen, welche Adressen von Betrieben mit Separatoren zur Verfügung gestellt haben. Mein Dank geht auch an Karin Groenestein (Wageningen UR Livestock Research, NL), Nicholas Hutchings (Aarhus University, DK) sowie Matthias Stettler und Bernhard Streit (HAFL Zollikofen) für ihre Unterstützung.

Anhang 1

Liste der Fragen zur Separierung von Gülle im Rahmen der Telefoninterviews

Kenndaten der Betriebe	Parameter Typ
Betriebstyp	Text
Fläche ha	Zahl
Zone	Text
Tiere	Text
GVE Rind	Zahl
GVE Schwein	Zahl
GVE Uebrige	Zahl
Stallsystem	Text
Warum wird auf dem Betrieb separiert	Text
Ausbringung (Handhabung, Vermeidung Strohwalmen, Futterverschmutzung)	Ja/Nein
Lagerung (Handhabung, Funktion Rührwerk)	Ja/Nein
Verminderung Lagervolumen Gülle	Ja/Nein
Gewinnung von Einstreue	Ja/Nein
Nährstoffexport via Feststoffe	Ja/Nein
Bessere Düngewirkung	Ja/Nein
Vermeidung Verstopfungen (Leitungen Betrieb, Bodenleitungen)	Ja/Nein
Ammoniakverluste	Ja/Nein
Weitere	Text
Seit wann wird separiert	Zahl
Separierung	
Verwendeter Geräte Typ	Text
Bei Schneckenpresse: Siebweite	Zahl
Fest installiert	Ja/Nein
Installation in Gebäude	Ja/Nein
Lüftung Gebäude	Ja/Nein
Mobil	Ja/Nein
Eigenes Gerät	Ja/Nein
Überbetrieblich	Ja/Nein
Durchflussgeschwindigkeit des Separators	Zahl
Anzahl Betriebsstunden des Separator pro Jahr	Zahl
Häufigkeit Betrieb Separator	Zahl

Gülle zur Separierung	Parameter Typ	
Unvergoren		
Rindvieh	Ja/Nein	Zahl
Schweine	Ja/Nein	Zahl
Mischgülle Rindvieh/Schweine	Ja/Nein	Zahl
Anderes Substrat	Ja/Nein	Zahl
Vergoren		
Rindvieh	Ja/Nein	Zahl
Schweine	Ja/Nein	Zahl
Mischgülle Rindvieh/Schweine	Ja/Nein	Zahl
Anderes Substrat	Ja/Nein	Zahl
Mit Cosubstrat	Ja/Nein	Zahl
Menge Gülle separiert total pro Jahr	Zahl	
Lagerung Gülle vor Separierung		
Lagerbehälter Volumen	Zahl	
Lagerbehälter Tiefe	Zahl	
Abdeckung Lager		
Feste Abdeckung	Ja/Nein	Zahl
Offen	Ja/Nein	Zahl
Perforierte Abdeckung	Ja/Nein	Zahl
Zelt	Ja/Nein	Zahl
Schwimmfolie	Ja/Nein	Zahl
Lagerdauer (Monate)	Zahl	
Lagerung Dünngülle nach Separierung		
Lagerung Dünngülle auf dem Betrieb	Ja/Nein	Zahl
Abgabe Dünngülle nach Separierung	Ja/Nein	Zahl
Lagerdauer (Monate)	Zahl	
Bildung Schwimmschicht nach Separierung	Ja/Nein	
Lagerung im gleichen Lagerbehälter wie vor Separierung	Ja/Nein	
Lagerbehälter Volumen m3	Zahl	
Lagerbehälter Tiefe m	Zahl	
Abdeckung Lager		
Feste Abdeckung	Ja/Nein	Zahl
Offen	Ja/Nein	Zahl
Perforierte Abdeckung	Ja/Nein	Zahl
Zelt	Ja/Nein	Zahl
Schwimmfolie	Ja/Nein	Zahl

Lagerung Feststoffe nach Separierung		Parameter Typ	
Lagerung Feststoffe auf dem Betrieb	Ja/Nein	Zahl	
Abgabe Feststoffe nach Separierung	Ja/Nein	Zahl	
Lagerdauer (Monate)	Zahl	Zahl	
Lager offen	Ja/Nein	Zahl	
Lager überdacht	Ja/Nein	Zahl	
Lager offen abgedeckt	Ja/Nein	Zahl	
Kompostierung	Ja/Nein	Zahl	
Zuschlagstoffe	Ja/Nein	Zahl	
Ausbringung Dünngülle			
Gerät			
Schleppschlauch	Ja/Nein	Zahl	
Prallteller	Ja/Nein	Zahl	
Anderes Gerät	Text	Zahl	
Ausbringmenge m3 /ha	Zahl	Zahl	
Einarbeitung nach Ausbringung	Ja/Nein	Zahl	
Grasland	Ja/Nein	Zahl	
Weizen	Ja/Nein	Zahl	
Mais	Ja/Nein	Zahl	
Hackfrüchte	Ja/Nein	Zahl	
Andere Kulturen	Ja/Nein	Zahl	
Stoppeln	Ja/Nein	Zahl	
Ackerland Boden unbewachsen	Ja/Nein	Zahl	
Verwendung Feststoffe			
Ausbringung	Ja/Nein	Zahl	
Einstreue	Ja/Nein	Zahl	
Vergärung	Ja/Nein	Zahl	
andere	Text	Zahl	
Ausbringung Feststoffe			
Gerät	Ja/Nein		
Ausbringmenge m3 /ha	Zahl		
Einarbeitung nach Ausbringung	Ja/Nein	Zahl	
Grasland	Ja/Nein	Zahl	
Weizen	Ja/Nein	Zahl	
Mais	Ja/Nein	Zahl	
Hackfrüchte	Ja/Nein	Zahl	
Andere Kulturen	Ja/Nein	Zahl	
Stoppeln	Ja/Nein	Zahl	
Ackerland Boden unbewachsen	Ja/Nein	Zahl	
Erfahrungen des Betriebsleiters			
Zufriedenheit	Text		
Vorteile des Verfahrens	Text		
Nachteile des Verfahrens	Text		