

## Kosteneffizienz von Güllebehälter-Abdeckungen

### Emmissionsminderung und Wirtschaftlichkeit

Dunja Dux, Ludo Van Caenegem, Beat Steiner und Robert Kaufmann, Agroscope FAT Tänikon, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik, CH-8356 Ettenhausen  
E-Mail: dunja.dux@fat.admin.ch.



Abb. 1: Die Ammoniakemissionen eines offenen Güllebehälters (links) können durch eine Abdeckung (Zeltdach, rechts) deutlich verringert werden.

Die Ammoniakemissionen in der Schweiz stammen vorwiegend aus der Landwirtschaft und dort vor allem aus der Tierproduktion. Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) entsteht über die ganze Hofdüngerkette – Stall, Lagerung, Ausbringung und Weide. Die Emissionsraten in den einzelnen Teilbereichen beeinflussen einander gegenseitig. Die anteiligen Lagerverluste schwanken von wenigen Prozenten bei gedeckter Lagerung und tiefem Gehalt an löslichem Stickstoff ( $\text{N}_{\text{löslich}}$ ) in der Gülle bis zu einem Viertel der gesamten Ammoniakverluste eines Betriebs bei offener Lagerung, kombiniert mit emissionsarmer Aufstallung und Ausbringung.

Bei sechs verschiedenen Abdeckungen (technische Beschreibung siehe Van Caenegem et al. 2005) werden die zusätzlichen Jahreskosten inklusive Kosteneinsparungen und die Emissionsminderung bestimmt. Die daraus berechnete Kosteneffizienz (Kosten pro kg reduzierten Ammoniakstickstoff) stellt eine ideale

Kennzahl für den Vergleich dar, weil neben dem wirtschaftlichen auch der ökologische Aspekt einfließt. Abdeckungen mit hohem Eigenleistungspotenzial und günstigen Materialien sind kosteneffizienter als auf dem Markt erhältliche Abdeckungen, auch wenn – wie bei der Blähtonkugel-Schwimmschicht – die Emissionsreduktion tiefer ist. Durch die feuchte Umgebung ist die Lebensdauer von Holzkonstruktionen beschränkt, weshalb ein Selbstbau nur mit Vorbehalt empfohlen werden kann.

Auffallend ist die grosse Bandbreite bei der Kosteneffizienz. Sie zeigt auf, dass auf einem Betrieb eine Abdeckung des Güllebehälters sehr effizient sein kann, wenn in den vor- und nachgelagerten Bereichen Stall und Ausbringung schon wenig emittiert wird. Geht allerdings im Stall-Laufhof-Bereich und bei der Ausbringung schon viel Ammoniak verloren oder wird viel geweidet, ist eine Abdeckung deutlich weniger effizient.

Inhalt	Seite
Problemstellung	2
Reduktion von Ammoniakverlusten bei der Güllelagerung	2
Kosteneffizienz als Vergleichswert	3
Weniger Ammoniakverluste durch Abdeckung der Güllebehälter	3
Investitionen und Jahreskosten	5
Kosteneffiziente Güllebehälter-Abdeckungen	8
Schlussfolgerungen	8
Literatur	9

## Problemstellung

In der Landwirtschaft entsteht Ammoniak vorwiegend dort, wo tierische Exkremente mit der Luft in Kontakt kommen. Aus den organischen Stickstoffverbindungen bildet sich gasförmiges Ammoniak. Für die Landwirtschaft bedeuten die Ammoniakemissionen Verluste an Nährstoffen. In natürlichen Ökosystemen (z.B. Wald, Hochmoore) bewirken sie eine Überdüngung und Versauerung des Bodens. Ammoniakverluste entstehen in der ganzen Hofdüngerkette. Obwohl bei der Ausbringung der Hofdünger die Emissionen anteilmässig höher als bei der Lagerung sind, ist die Güllelagerung nicht zu vernachlässigen. Durch Abdeckung der Güllebehälter lassen sich die Ammoniakverluste deutlich verringern. Als Abdeckungen haben sich in der Schweiz bisher geschlossene Betonbehälter durchgesetzt. In den letzten Jahren kommen bei neuen Güllesilos vermehrt Schwimmfolien und Zeltdächer zum Einsatz. Neue Anlagen müssen in den meisten Kantonen aufgrund der Luftreinhalte-Verordnung (2004) abgedeckt werden. Für bestehende Güllebehälter sind häufig noch keine Vorschriften definiert. Offene Fragen zur Behältersicherheit (Explosionsgefahr) untersucht zurzeit die FAT. Um die Kosteneffizienz verschiedener Reduktionsmassnahmen zu vergleichen, stellen die Kosten pro kg reduzierten Ammoniakstickstoff (Fr./kg NH<sub>3</sub>-N) eine ideale Grösse dar. Dazu werden die gesamtbetrieblichen Einsparungen der Ammoniakemissionen und die zusätzlich entstehenden Jahreskosten inklusive Kosteneinsparungen (z.B. Mineraldünger) berechnet.

## Reduktion von Ammoniakverlusten bei der Güllelagerung

Ammonium entsteht durch die mikrobielle Zersetzung des Harnstoffs in der Gülle. Das in der Gülle gelöste Ammonium bildet die Basis zur Freisetzung von Ammoniak in die darüber liegenden Luftschichten. Die Ammoniakfreisetzung ist umso höher, je basischer der pH-Wert der Gülle und je wärmer die Gülle und die darüber liegende Luft sind. Bei einem starken Luftaustausch

über der Gülleoberfläche und beim Aufwischen der Gülle erhöhen sich die Ammoniakemissionen zusätzlich (Hartung 2002).

Es gibt verschiedene Ansätze, um die Ammoniakverluste zu vermindern (Van Caenegem et al. 2005). Einerseits kann mit angepasster Fütterung oder Massnahmen zur Reduktion der Gülletemperatur dafür gesorgt werden, dass sich in der Gülle wenig Ammoniak bildet. Andererseits kann die Freisetzung von gelöstem Ammoniak in die Luft reduziert werden, indem die emittierende Oberfläche möglichst klein gehalten, der Gülle-Luft-Kontakt getrennt oder der Luftaustausch über der Gülle verringert wird.

## Schüttschichten und Abdeckungen

Schüttschichten und schwimmende Abdeckungen hemmen den Übergang von Ammoniak aus der flüssigen Phase in die darüber liegende Luftschicht. Nicht schwimmende Abdeckungen verringern den Luftaustausch über der Gülleoberfläche. Eine technische Beschreibung verschiedener, auf dem Markt erhältlicher Produkte zur Abdeckung von Güllesilos sowie Beispiele für den Selbstbau finden sich im FAT-Bericht Nr. 631 (Van Caenegem et al. 2005).

### Schüttschichten

Beständigkeit und Ausbildung einer Schwimmschicht ist ausschlaggebend für deren Eignung zur Emissionsminderung. Wichtig für die Reduktion der Ammoniakemissionen ist eine genügende und homogene Dicke, die langfristig bestehen bleibt. Die Bildung von natürlichen Schwimmschichten kann durch Schüttgut (z.B. Strohhäcksel, Holzschnitzel) unterstützt werden. Bei organischen Schüttschichten wie Strohhäcksel kann ihre Zersetzung zu erhöhten Methan- und Lachgasfreisetzungen führen. Gebrannte Blähtonkugeln (Durchmesser 4 bis 8 mm) stellen als anorganisches Schüttgut eine Alternative dar. Sie eignen sich jedoch nur für Gülle, die keine natürliche Schwimmschicht bildet.

Der Blähton wird mit einem Silowagen angeliefert und ins Güllesilo eingeblasen. Die bisherigen Erfahrungen zeigen, dass eine regelmässige Schichtdicke (10 bis 15 cm) erreicht werden kann. Beim Ausbringen der Gülle ergaben sich auch mit Schleppschlauchverteilern keine Hinweise auf Probleme.

Schüttschichten aus organischen oder anorganischen Materialien werden bei Neuanlagen von den zuständigen Vollzugsbehörden kritisch beurteilt. Eine Schüttschicht aus Blähton oder Kunststoff-Schwimmkörpern kann jedoch bei fachgerechtem Einsatz eine Abdeckalternative sein.

### Schwimmende Abdeckungen

Von verschiedenen möglichen Systemen haben sich vor allem Folienabdeckungen durchgesetzt. Schwimmfolien haben den Vorteil, dass die Investitionen tiefer sind als bei Zeltdachabdeckungen, den Behälter statisch nicht belasten und aus Distanz nicht sichtbar sind. Allerdings ist die Kontrolle beim Rühren erschwert und das Regenwasser wird, wie bei offenen Behältern, in die Gülle eingeleitet. Neben den auf dem Markt erhältlichen Folien kann eine schwimmende Abdeckung aus Holz im Selbstbau erstellt werden (Van Caenegem et al. 2005).

### Nicht schwimmende Abdeckungen

In der Schweiz werden ungefähr zwei Drittel der Gülle in gedeckten Behältern gelagert (Reidy und Menzi 2005). Der grösste Teil dieser Behälter sind Güllegruben mit einer festen Betonabdeckung. In den Niederlanden, in denen seit 1991 eine Abdeckungspflicht besteht, hat sich bei Güllesilos das Zeltdach durchgesetzt. Im Zentrum wird eine Pendelstütze montiert. Die Zeltplane wird mit Spannbändern am Silo befestigt. Zeltdach- und feste Betonabdeckungen haben den Vorteil, dass sie eine gewisse Kontrolle beim Rühren ermöglichen und das Meteorwasser ableiten. Als Nachteil können die höheren Investitionen und bei Zeltdächern die Belastung der Behälterwände durch Schnee- und Windlast gelten.

Um die relativ hohen Investitionen zu re-

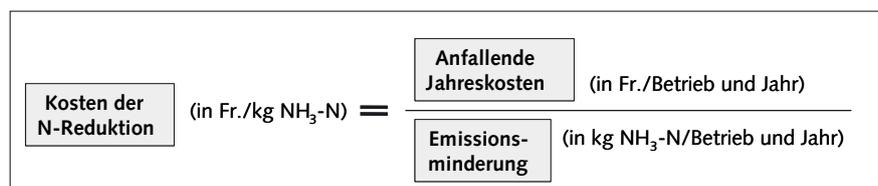


Abb. 2: Berechnungsschema für die Kosteneffizienz einer Massnahme zur Reduktion der Ammoniakemissionen.

duzieren, kann eine Abdeckung im Selbstbau in Betracht gezogen werden. Das Kegeldach wird mit einer Betonstütze und imprägnierten Holzsparrnen konstruiert und mit einer Gitterfolie aus dem Gewächshäuserbau abgedeckt. Durch die permanent feuchte Umgebung ist die Lebensdauer der Holzkonstruktion beschränkt, weshalb sich ein Selbstbau nur mit Vorbehalt und für kleine Behälter empfiehlt.

## Kosteneffizienz als Vergleichswert

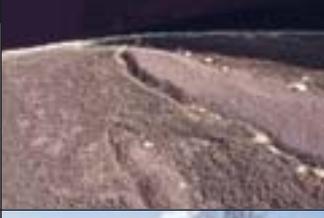
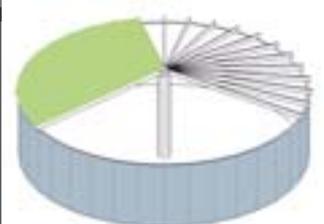
Massnahmen zur Reduktion von Ammoniakverlusten bringen nicht nur zusätzliche Kosten, sondern auch Kosteneinsparungen. So kann durch die Abdeckung eines offenen Güllesilos zum Beispiel Stickstoff-Mineraldünger eingespart werden, weil mehr pflanzenverfügbare Stickstoff in der Gülle verbleibt. Der hauptsächliche Nutzen einer Abdeckung des Güllesilos bleibt allerdings die Reduktion der Ammoniakemissionen in die Luft. Die Kosteneffizienz erlaubt, die ökologischen und ökonomischen Aspekte in einem Wert auszudrücken. Sie ermöglicht ausserdem den Vergleich verschiedener Reduktionsmassnahmen.

Die Kosteneffizienz ergibt sich aus der Division der zusätzlich entstehenden Jahreskosten durch die Einsparung der Ammoniakverluste bei der Abdeckung des Güllebehälters (Abb. 2). Hat eine Massnahme vergleichsweise tiefere Kosten pro kg eingesparten Ammoniak-Stickstoff (NH<sub>3</sub>-N), ist sie effizienter, weil sich mit geringeren Kosten die Ammoniakverluste vermindern lassen.

## Weniger Ammoniakverluste durch Abdeckung der Güllebehälter

Zur Berechnung der Kosteneffizienz von Güllebehältern muss die ganze Hofdüngerkette einbezogen werden. Das heisst, es müssen die gesamtbetrieblichen Einsparungen der Ammoniakemissionen bei Anwendung der entsprechenden Massnahme bestimmt und die zusätzlich entstehenden Jahreskosten berechnet werden. Dazu werden zwei verschiedene Güllearten (Rindvieh- und Schweinevöllgüle) sowie sechs unterschiedliche Ab-

**Tab. 1: In der Kosteneffizienzberechnung verglichene Varianten (jeweils mit Rindvieh- und Schweinevöllgüle). D=Innendurchmesser, H=Innenhöhe, V=Volumen.**

Abdeckungen		Gülle-behälter Grösse A	Gülle-behälter Grösse B	Emissions-reduktion <sup>1)</sup>
Güllesilo Stahl-Email offen		D = 12 m H = 4.5 m V = 509 m <sup>3</sup>	D = 16 m H = 4.5 m V = 905 m <sup>3</sup>	0 % (Referenz)
Güllesilo mit Blähtonkugel-Schwimmschicht		D = 12 m H = 4.5 m V = 509 m <sup>3</sup>	D = 16 m H = 4.5 m V = 905 m <sup>3</sup>	60 %
Güllesilo mit Schwimmfolie		D = 12 m H = 4.5 m <sup>3</sup> V = 509 m	D = 16 m H = 4.5 m <sup>3</sup> V = 905 m	80 %
Güllesilo mit Holzsteller schwimmend (Selbstbau)		D = 12 m H = 4.5 m V = 509 m <sup>3</sup>	–	80 %
Güllesilo mit Zeltdach		D = 11 m H = 4.5 m V = 428 m <sup>3</sup>	D = 15 m H = 4.5 m V = 795 m <sup>3</sup>	80 %
Güllesilo mit Kegeldach und Gitterfolie (Selbstbau)		D = 11 m H = 4.5 m V = 428 m <sup>3</sup>	–	80 %
Geschlossene, runde Unterflur-Güllegrube aus Beton	 <small>Foto: BUL, Schöffland</small>	D = 12.5 m H = 3.5 m V = 430 m <sup>3</sup>	D = 17 m H = 3.5 m V = 794 m <sup>3</sup>	80 %

<sup>1)</sup> Prozentuale Reduktion der Ammoniakemissionen im Vergleich zur offenen Lagerung auf der Ebene Hofdüngerlagerung

deckungssysteme bei zwei verschiedenen Güllebehältervolumen betrachtet (Tab. 1). Die Behältervolumen unterscheiden sich je nachdem, ob das Regenwasser durch die Abdeckung abgeleitet oder in die Gülle eingeleitet wird. Die geschlossene Güllegrube aus Beton ist aufgrund der Ansaugleistung der Güllepumpen in der Praxis meist auf 3,5 m Tiefe beschränkt. Der Durchmesser vergrössert sich entsprechend. Abdeckungen im Selbstbau stossen bei grösseren Silos an ihre Grenzen. Für die Behältergrösse B werden darum Holzsteller und Kegeldach mit Gitterfolie nicht in den Vergleich einbezogen.

Da die verschiedenen Teilbereiche der Hofdüngerkerne auf einem Betrieb zusammenhängen, bedeuten Einsparungen der Ammoniakemissionen bei der Lagerung einen höheren Stickstoffgehalt der Gülle und somit bei gleichbleibender Ausbringtechnik höhere Emissionen bei der Ausbringung. Der Stickstoffgehalt der Exkremente bei der Ausscheidung und die Höhe der Emissionen im Stallbereich beeinflussen den Stickstoffgehalt der Gülle am Anfang der Lagerung und somit die Emissionen während der Lagerung. Um diese Effekte zu berücksichtigen, muss die gesamtbetriebliche Emissionsminderung einer Reduktionsmassnahme berechnet werden. Das Modell DYNAMO (Reidy et al. 2004) erfüllt diese Ansprüche und wurde darum zur Berechnung der Emissionsminderungen verwendet.

Es werden jeweils zwei Emissionssituationen gerechnet:

- a) Betrieb mit offenem Güllesilo,
  - b) Betrieb mit abgedecktem Güllebehälter.
- Die Differenz dieser beiden Emissionssituationen ergibt die Emissionsminderung der Abdeckung.

Es werden sowohl für Rindvieh- als auch für Schweinegülle je zwei Modellbetriebe gerechnet, die in der Praxis verbreitet sind und somit die Bandbreite zwischen einer unteren und oberen Grenze zeigen. Diese Bandbreite repräsentiert die häufig vorkommenden Betriebe ohne extreme Emissionssituationen. Der eine Modellbetrieb hat verhältnismässig tiefe Emissionen bei der offenen Güllelagerung, was bei einer Abdeckung zu geringer Emissionsminderung führt (Lagerverlust\_tief). Die tiefen Emissionen bei der Lagerung sind auf hohe Verluste im Stallbereich zurückzuführen. Weiter geht ein Teil der durch Abdeckung der Güllelager eingesparten Emissionen durch eine relativ verlustreiche Ausbringtechnik wieder verloren. Der zweite Modellbetrieb hat verhältnismässig hohe Emissionen bei der offenen Güllelagerung

Tab. 2: Wichtigste getroffene Annahmen für die Berechnung der Emissionsminderung durch Abdeckung bei Rindviehgülle.

Rindviehvollgülle (Milchvieh)	Modellbetrieb Lagerverlust tief	Modellbetrieb Lagerverlust hoch
Stallsystem	Boxenlaufstall, Vollgülle	Anbindestall, Vollgülle
Laufhof	2.5 m <sup>2</sup> /Tier, befestigt 155 Tage/Jahr 24 Stunden/Tag	8 m <sup>2</sup> /Tier 90 Tage/Jahr 1 Stunde/Tag
Weide	210 Tage/Jahr 9 Stunden/Tag	150 Tage/Jahr 4 Stunden/Tag
Fütterung	identisch	
Hofdüngerlagerung	Grösse des Silos identisch Natürliche Schwimmdecke: nicht genügend ausgebildet Rührhäufigkeit: 7–12 Mal/Jahr	
Gülleausbringung		
• Technik	Breitverteiler	Schleppschlauchverteiler
• Jahreszeit	40 % der Gülle von Juni bis August	20 % der Gülle von Juni bis August
• Zeitpunkt	nie nach 18 Uhr, manchmal an heissen Tagen, selten bei leichtem Regen	33 % nach 18 Uhr, nie an heissen Tagen, selten bei leichtem Regen
• Bodenzustand	wird oft berücksichtigt	wird oft berücksichtigt

Tab. 3: Wichtigste getroffene Annahmen für die Berechnung der Emissionsminderung durch Abdeckung bei Schweinegülle.

Schweinevollgülle (Mastschweine)	Modellbetrieb Lagerverlust tief	Modellbetrieb Lagerverlust hoch
Stallsystem	Teilspalten, Vollgülle	
Auslauf	Befestigt, perforiert 320 Tage/Jahr 24 Stunden/Tag	Kein Auslauf
Fütterung	Phasenfütterung Rohproteingehalt: 15 %	Keine Phasenfütterung Rohproteingehalt: 18 %
Hofdüngerlagerung	Grösse des Silos identisch Natürliche Schwimmdecke: nicht genügend ausgebildet Rührhäufigkeit: 7–12 Mal/Jahr	
Gülleausbringung		
• Technik	Breitverteiler	Schleppschlauchverteiler
• Jahreszeit	40 % der Gülle von Juni bis August	20 % der Gülle von Juni bis August
• Zeitpunkt	nie nach 18 Uhr, manchmal an heissen Tagen, selten bei leichtem Regen	33 % nach 18 Uhr, nie an heissen Tagen, selten bei leichtem Regen
• Bodenzustand	wird oft berücksichtigt	wird oft berücksichtigt

und somit eine hohe Emissionsminderung bei einer Abdeckung (Lagerverlust\_hoch), weil im Stallbereich und bei der Gülleausbringung wenig Ammoniak verloren geht. Tabelle 2 zeigt die wichtigsten Annahmen für die Rindviehgülle, die auf die Berechnung der Emissionsminderung einen Einfluss haben. Tabelle 3 stellt die Annahmen für die Schweinegülle dar.

Aus der Literatur sind einige Praxis- und Laborexperimente mit Resultaten zur Emissionsreduktion verschiedener Güllebehälter-Abdeckungen bekannt. Bei den zur Unterstützung der Schwimmdeckenbildung verwendeten Blähtonkugeln wurden in verschiedenen Untersuchungen Reduktionen der Ammoniakverluste von 50 bis über 90 % (Karlsson 1996; Navarotto et al. 2003; Sommer et al. 1993) gemessen. Für schwimmende Abdeckungen liegt die Reduktion der Ammoniakemissionen

gemäss verschiedener Experimente mit 70 bis knapp 100 % (De Bode 1990; Sommer et al. 1993; Hüther und Schuchardt 1998) höher. Für nicht schwimmende Abdeckungen bewegen sich die Reduktionen im gleichen Bereich (De Bode 1990; Williams 1996) wie schwimmende Abdeckungen. Die in den Experimenten gemessenen Verlusteinsparungen verschiedener Güllebehälter-Abdeckungen erschweren infolge unterschiedlicher Versuchsbedingungen und Messmethoden die Einführung eines Masses für die Emissionsreduktion. Für die weiteren Berechnungen mussten deshalb Annahmen getroffen werden (Tabelle 1). Das Modell DYNAMO wurde entsprechend angepasst. Sollten zukünftige Messungen in der Praxis andere Werte liefern, sind die Berechnungen der Emissionsminderung zu überprüfen.

Die in Abbildung 3 dargestellten Einsparungen der Ammoniakverluste ergeben sich unter den beschriebenen Annahmen aus den Berechnungen mit dem Modell DYNAMO. Die Bandbreite der Verlusteinsparung ist bei Schweinegülle breiter als bei Rindviehgülle, weil sich die beiden Modellbetriebe stärker

unterscheiden. Die Emissionsminderung durch Abdeckung eines Güllebehälters mit Schweinegülle ist höher als bei Rindviehgülle, weil der N<sub>l</sub>-Gehalt in der Schweinegülle höher ist. Beim Modellbetrieb Lagerverlust\_tief ist diese Tatsache für die deutlich höhere Emissionsminderung der Schweinegülle im

Vergleich zur Rindviehgülle verantwortlich, da im Stallbereich wenig Stickstoff verloren geht und somit während der Lagerung noch mehr Stickstoff in der Gülle vorhanden ist. Beim Modellbetrieb Lagerverlust\_tief tragen das stickstoffreduzierte Futter und die Ammoniakverluste im Auslauf zu einem niedrigeren N<sub>l</sub>-Gehalt der Gülle in der Lagerung bei. Zeltdach, Kegeldach mit Gitterfolie und Betonabdeckung haben eine geringfügig tiefere Emissionsminderung als Schwimmfolie und Holzteller, weil bei den erstgenannten Abdeckungen das Regenwasser abgeleitet wird und die Gülle somit weniger verdünnt ist. Bei der Ausbringung sind dadurch die Verluste leicht höher. Eine Blähtonkugel-Schwimmschicht erreicht aufgrund der tieferen prozentualen Emissionsreduktion geringere Verlustminderungen.

Bei den berechneten Modellbetrieben mit Rindviehgülle gehen bei der Güllelagerung im offenen Silo 13 % (Lagerverlust\_tief) bis 26 % (Lagerverlust\_hoch) der Ammoniakemissionen der ganzen Hofdüngerkette verloren (Abb. 4). Bei der Hofdüngerausbringung entsteht mit 52 % der grösste Teil der Verluste. Bei den berechneten Modellbetrieben für Schweinegülle liegen die Ammoniakverluste in der Güllelagerung im offenen Silo bei 11 % (Lagerverlust\_tief) bis 20 % (Lagerverlust\_hoch). Auch bei diesen Betrieben geht bei der Ausbringung verglichen mit allen Bereichen der Hofdüngerkette am meisten Ammoniak verloren (41 bis 48 %). Sind die Güllebehälter gedeckt, trägt die Lagerung je nach Abdeckung und Modellbetrieb bei Rindviehgülle 3 bis 12 % und bei Schweinegülle 2 bis 9 % zu den gesamten Ammoniakverlusten bei.

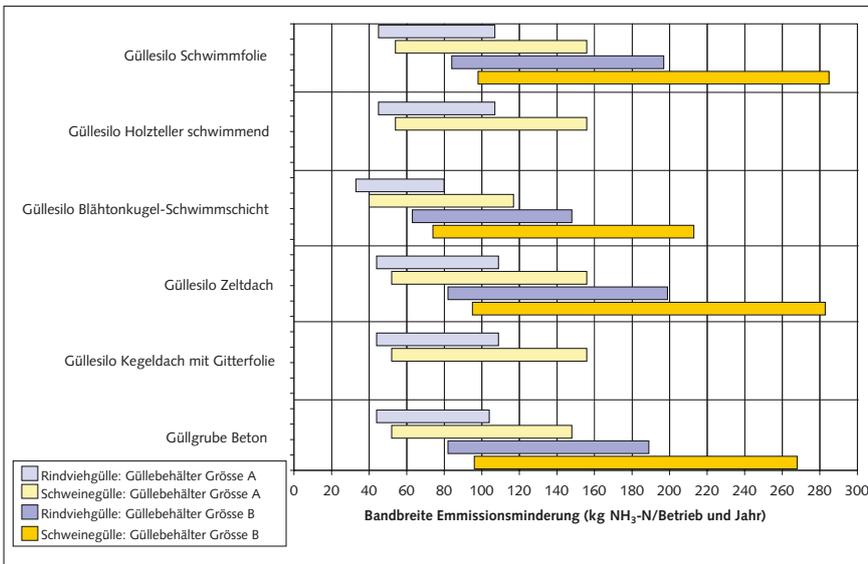


Abb. 3: Bandbreite der Emissionsminderungen verschiedener Güllebehälter-Abdeckungen bei den Güllebehältern beider Grössen (siehe Tab. 1) für Schweine- und Rindviehgülle.

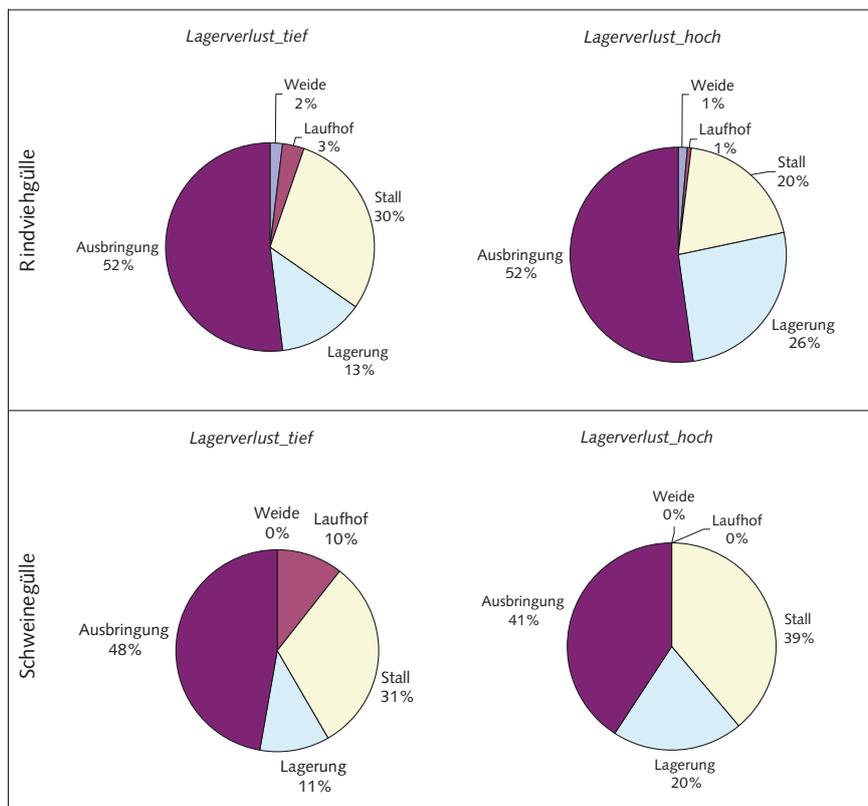


Abb. 4: Anteile der verschiedenen Bereiche der Hofdüngerkette an den gesamten Ammoniakverlusten der Modellbetriebe (Grösse A) bei offener Güllelagerung.

## Investitionen und Jahreskosten

Werden beim Neubau eines Güllebehälters Abdeckungen gewählt, die das Regenwasser ableiten (Zeltdach, Kegeldach mit Gitterfolie, feste Betonabdeckung), kann das Volumen des Güllebehälters um die Regenwassermenge, die während der Winterlagerungsdauer anfällt (Annahme: 5 Monate), reduziert werden. Für durchschnittliche Schweizer Verhältnisse sind das 0,1 m<sup>3</sup> Regen pro m<sup>2</sup> Oberfläche und Monat (BLW und BUVAL 1994) während fünf Monaten. Bei den Varianten Blähtonkugel-Schwimmschicht, Schwimmfolie und Holzteller wird in den folgenden

Wirtschaftlichkeitsberechnungen davon ausgegangen, dass das Regenwasser in die Gülle gelangt.

Die Volumeneinsparung einerseits und der Vergleich mit einer Güllegruben-Abdeckung in Beton andererseits bedingen, dass die Investitionen und Jahreskosten der Güllebehälter in die Berechnung einbezogen werden. Für die Güllesilos wird als Material Stahl-Email angenommen, bei der Variante mit befahrbarer Betondecke handelt es sich um einen runden Unterflur-Betonbehälter mit Zwischenstützen für die Decke. Die Berechnungen berücksichtigen nur den Neubau von Güllebehältern. Die Investitionen für die Abdeckung von bestehenden Behältern hängen stark von der Art und Bauweise des Güllesilos ab. Teilweise sind Verstärkungen oder Anpassungsarbeiten am Behälter nötig. Aufgrund dieser Variabilität der zusätzlich anfallenden Kosten wird auf eine Berechnung für bestehende Behälter verzichtet.

## Investitionen

Tabelle 4 zeigt die entstehenden Investitionen für zwei verschiedene Behältergrößen und sechs unterschiedliche Abdeckungen. Die Investitionen beinhalten die Mehrwertsteuer (7,6%) sowie die Entschädigung der Hilfskräfte inklusive Betriebsleiter, die vom Hersteller vorgeschrieben bzw. für den Selbstbau des Holztellers und des Kegeldachs mit Gitterfolie benötigt werden, aber keine Planungskosten. Die Entschädigung der Hilfskräfte zur Erstellung von Güllebehältern und Abdeckungen wird zu einem Ansatz von Fr. 45.– pro Stunde verrechnet (nach Preisbaukasten, Hilty et al. 2005).

## Jahreskosten

Die Jahreskosten von Güllebehälter und Abdeckung berechnen sich aus Abschreibung, Zins und Reparaturen. Die für die Berechnung verwendeten Werte sind aus Tabelle 5 ersichtlich. Die Jahreskosten der Blähtonkugel-Schwimmschicht berechnen sich aus den Jahreskosten der ersten Füllung sowie aus dem Arbeits-, Maschinen- und Materialaufwand für den Ersatz des in einem Jahr verloren gegangenen Materials (Tab. 6).

Die wiederkehrenden Eigenleistungen des Landwirts, zum Beispiel die Arbeit beim Ersatz von Blähtonkugeln oder das Ausbringen der Gülle (siehe unten), wurde mit dem FAT-Ansatz von Fr. 26.– pro Stunde (Lohnansatz für die Verrechnung unter Landwirten, Ammann 2004) kalkuliert.

**Tab. 4: Investitionen (Fr.) beim Neubau von Güllesilos in Stahl-Email mit unterschiedlicher Abdeckung sowie für eine runde gedeckte Betongüllegrube (inkl. MwSt, Entschädigungen Hilfskräfte, exkl. Planungskosten).**

System		Güllebehälter Grösse A	Güllebehälter Grösse B
Güllesilo Stahl-Email offen	Behälter	52'136	73'590
	Abdeckung	–	–
<b>Total</b>		<b>52'136</b>	<b>73'590</b>
Güllesilo mit Schwimmfolie	Behälter	52'136	73'590
	Abdeckung	10'065	15'922
<b>Total</b>		<b>62'201</b>	<b>89'512</b>
Güllesilo mit schwimmendem Holzteller (Selbstbau)	Behälter	52'136	
	Abdeckung	6'770	
<b>Total</b>		<b>58'906</b>	
Güllesilo mit Blähtonkugel- Schwimmschicht	Behälter	52'136	73'590
	Abdeckung	2'296	4'082
<b>Total</b>		<b>54'432</b>	<b>77'671</b>
Güllesilo mit Zeltdach	Behälter	48'000	68'022
	Abdeckung	20'046	26'200
<b>Total</b>		<b>68'046</b>	<b>94'221</b>
Güllesilo mit Kegeldach und Gitterfolie (Selbstbau)	Behälter	48'000	
	Abdeckung	8'553	
<b>Total</b>		<b>56'553</b>	
Geschlossene, runde, Unterflur-Güllegrube aus Beton	Behälter	75'863	118'901
	Abdeckung	–	–
<b>Total</b>		<b>75'863</b>	<b>118'901</b>

Berechnungsgrundlage:

Güllesilo Stahl-Email: Angabe Hersteller (H.U. Kohli AG, Gisikon)

Betongrube: Preisbaukasten (Hilty et al. 2005)

Güllesiloabdeckungen: Angaben Hersteller/Vertreiber (H.U. Kohli AG, Gisikon; Arnold AG Umwelttechnik, Schachen)

Blähton und Selbstbaulösungen: siehe FAT-Bericht Nr. 631 (Van Caenegem et al. 2005)

**Tab. 5: Für die Berechnung der Jahreskosten verwendete Anteile an den Investitionen für Güllebehälter und Abdeckungen.**

Kostenelemente	Güllebehälter, Feste Betonabdeckung	Schwimmfolie, Holzteller, Zeltdach, Kegeldach mit Gitterfolie
Abschreibung	3.3 % (30 Jahre)	10.0 % (10 Jahre)
Zins <sup>1)</sup>	2.5 %	2.3 %
Reparatur	1.0 %	2.0 %
<b>Total</b>	<b>6.8 %</b>	<b>14.3 %</b>

<sup>1)</sup> Zinssatz 4 %; durchschnittlich gebundener Anlagewert hängt von der Abschreibungsdauer ab.

**Tab. 6: Jahreskosten für den Ersatz der Blähtonkugeln pro Oberfläche Güllesilo in Fr./m<sup>2</sup> und Jahr**

Kostenelemente	Kosten pro Einheit	Kosten pro m <sup>2</sup> Oberfläche
Investition 1. Füllung (Fr. 20.30/m <sup>2</sup> )		
Abschreibung	10 % der Investitionen	Fr. 2.03/m <sup>2</sup>
Zins	2.3 % der Investitionen	Fr. 0.47/m <sup>2</sup>
Materialersatz: 0.014 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> Oberfläche	Fr. 220.–/m <sup>3</sup>	Fr. 3.08/m <sup>2</sup>
Variable Kosten Förderband 10 m	Fr. 7.50/h	Fr. 0.11/m <sup>2</sup>
Arbeitskosten	Fr. 26.–/h	Fr. 0.55/m <sup>2</sup>
<b>Total</b>		<b>Fr. 6.24/m<sup>2</sup></b>

Die Jahreskosten für die verschiedenen Varianten der Güllebehälter inklusive Abdeckungen reichen für die Variante mit kleineren Silos von Fr. 4250.– bis Fr. 6130.– pro Jahr. Im Vergleich kostet ein offener Güllesilo Fr. 3550.– pro Jahr und ein befahrbarer Betonbehälter Fr. 5160.– pro Jahr. Bei der Variante mit grösseren Silos sind die Jahreskosten pro Volumeneinheit etwas günstiger, aber die Verhältnisse sind ähnlich. Einzig die Zeldachabdeckung ist deutlich günstiger bei grösserem Volumen, was auf den verhältnismässig tieferen Investitionsbedarf bei grossen Zeldächern zurückzuführen ist.

## Einsparungen Jahreskosten

Leitet eine Abdeckung das Regenwasser ab und ist die zusätzliche Verdünnung nicht erwünscht, können neben dem Lagervolumen auch bei der Gülleausbringung Kosten eingespart werden. Auf 1 m<sup>2</sup> Güllelager-Oberfläche fallen bei durchschnittlichen Schweizer Verhältnissen 1,2 m<sup>3</sup> Regenwasser pro Jahr an (siehe oben). Bei der Ausbringung können die anteiligen variablen Kosten des Fasses mit Verteiler und des Traktors sowie Arbeitskosten eingespart werden. Sie unterscheiden sich je nachdem, ob mit Breitverteiler (Modellbetrieb Lagerverlust\_tief) oder Schleppschauchverteiler (Modellbetrieb Lagerverlust\_hoch) ausgebracht wird. Pro Kubikmeter Gülle, der weniger ausgebracht wird, können mit dem Breitverteiler Fr. 2.23 und mit dem Schleppschauchverteiler Fr. 2.77 eingespart werden. Die weniger stark verdünnte Gülle führt bei der Ausbringung zu höheren Emissionen, was bei der Berechnung der Emissionsminderung berücksichtigt ist.

Durch die verringerten Ammoniakverluste bei gedeckter Lagerung der Gülle kann Stickstoff-Mineraldünger eingespart werden. Aufgrund des Preises für Ammonsalpeter (27,5%) von Fr. 39.– pro dt Dünger (Agrigate 2005) ergeben sich Kosteneinsparungen von Fr. 1.42 pro kg eingesparten NH<sub>3</sub>-N. Die Kosteneinsparungen unterscheiden sich aufgrund der unterschiedlichen Emissionsminderungen bei den Modellbetrieben Lagerverlust\_tief und Lagerverlust\_hoch sowie bei Schweine- und Rindviehgülle. Mögliche Einsparungen durch Maschinen- und Arbeitskosten bei der Ausbringung des Mineraldüngers werden nicht berücksichtigt, weil davon ausgegangen werden kann, dass die Anzahl Durchgänge bei der Ausbringung gleich bleibt, um den restlichen Mineraldünger optimal auszubringen.

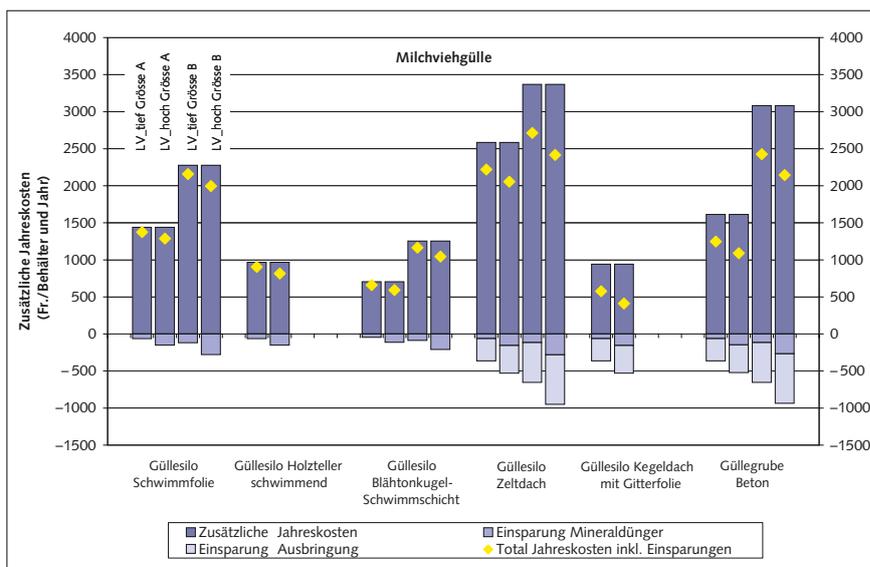


Abb. 5: Zusätzliche Jahreskosten der Behälter mit Rindviehgülle, Einsparungen beim Mineraldünger und bei der Ausbringung der Gülle (Fr./Behälter und Jahr) für verschiedene Abdeckungen. LV\_tief = Lagerverlust\_tief; LV\_hoch = Lagerverlust\_hoch.

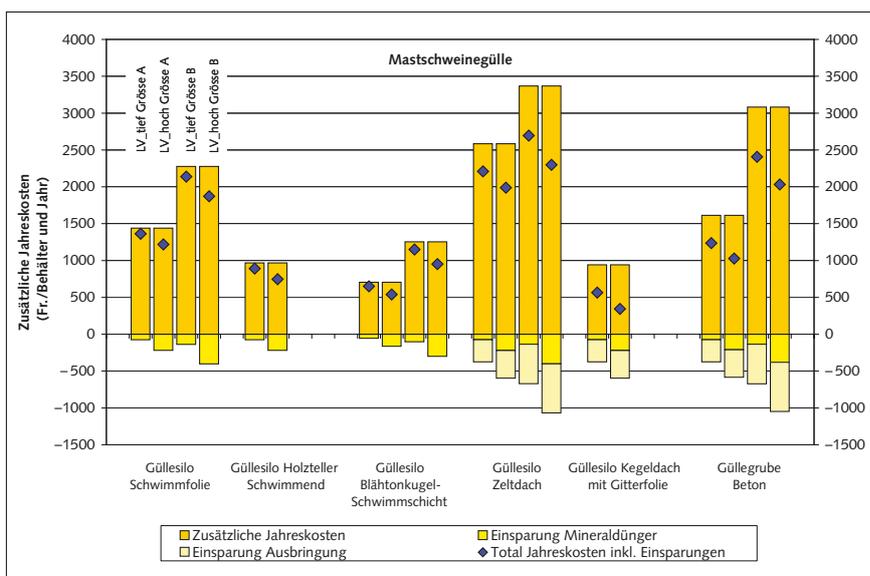


Abb. 6: Zusätzliche Jahreskosten der Behälter mit Schweinegülle, Einsparungen beim Mineraldünger und bei der Ausbringung der Gülle (Fr./Behälter und Jahr) für verschiedene Abdeckungen. LV\_tief = Lagerverlust\_tief; LV\_hoch = Lagerverlust\_hoch.

Um die zusätzlichen Jahreskosten einer Abdeckung bei neuen Güllebehältern zu bestimmen, wird die Differenz der Jahreskosten zwischen abgedecktem und offenem Behälter berechnet und davon die Einsparungen beim Mineraldünger und der Ausbringung der Gülle abgezogen. Die Resultate für Rindviehgülle (Abb. 5) und Schweinegülle (Abb. 6) unterscheiden sich in den Einsparungen beim Mineraldünger, weil die Ammoniakverluste unterschiedlich sind. Die tiefsten Jahreskosten verursacht bei der Grösse A das Kegeldach mit Gitterfolie und die Blähton-

kugel-Schwimmschicht mit Fr. 410.– bis Fr. 660.– pro Behälter. Die höchsten Jahreskosten entstehen durch eine Zeldach-Abdeckung, mit Fr. 1990.– bis Fr. 2220.– pro Behälter. Bei der Grösse B sind es die gleichen Abdeckungen die die minimalen und maximalen Jahreskosten erreichen. Die Differenz zur Zeldach-Abdeckung ist verhältnismässig weniger hoch.

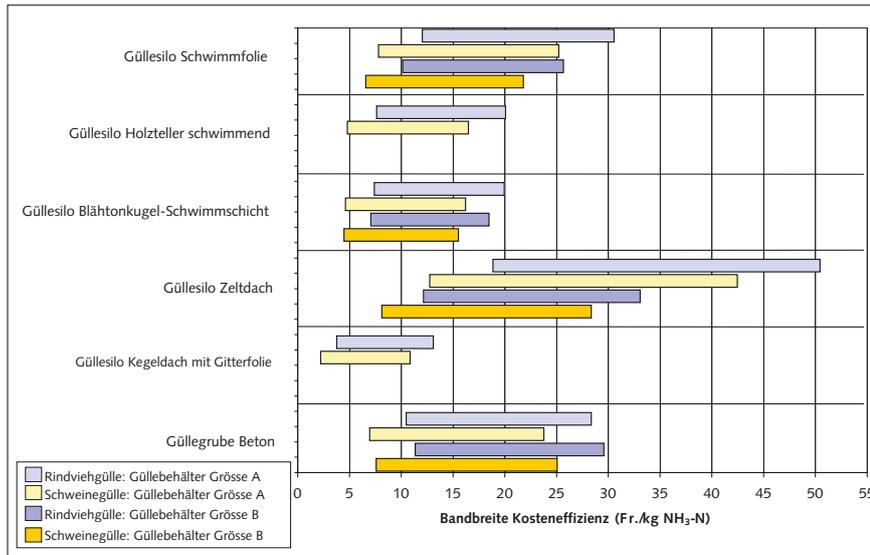


Abb. 7: Bandbreite der Kosten pro kg eingesparten NH<sub>3</sub>-N der einzelnen Abdeckungen von Güllebehältern beider Grössen (Tab. 1).

### Kosteneffiziente Güllebehälter-Abdeckungen

Aus den berechneten Emissionsminderungen und den zusätzlich entstehenden Jahreskosten wird die Kosteneffizienz je für die beiden Modellbetriebe Lagerverlust\_tief und Lagerverlust\_hoch berechnet. Damit lässt sich eine Bandbreite der Kosteneffizienz für die verschiedenen Abdeckungen in Franken pro kg eingesparten NH<sub>3</sub>-N für Rindvieh- bzw. Schweinegülle aufzeigen (Abb. 7).

Die Kosteneffizienz reicht beim Güllebehälter der Grösse A (Durchmesser 11 bis 12.5 m) von Fr. 3.80 bis Fr. 50.50 bei Rindviehgülle und von Fr. 2.20 bis Fr. 42.50 pro kg NH<sub>3</sub>-N bei Schweinegülle. Beim Güllebehälter Grösse B (Durchmesser 15 bis 17 m) liegt die Kosteneffizienz für die Abdeckungen bei Fr. 7.10 bis Fr. 33.10 für Rindviehgülle und Fr. 4.50 bis Fr. 28.40 pro kg NH<sub>3</sub>-N für Schweinegülle. Eine Abdeckung der Güllesilos ist bei reiner Schweinegülle effizienter als bei reiner Rindviehgülle, weil die Emissionsminderung aufgrund des höheren N<sub>löslich</sub>-Gehalts bei Schweinegülle höher ist.

Auffallend sind die grossen Bandbreiten der Kosteneffizienz bei allen Abdeckungsarten. Sie zeigen, dass die individuelle Betriebsstruktur in allen Bereichen der Hofdüngerkette (Fütterung, Stallbereich, Lagerung, Ausbringung und Weide) einen grossen Einfluss auf den N<sub>löslich</sub>-Gehalt der Gülle bei Lagerung und Ausbringung

und somit auf die Emissionsminderung und Kosteneffizienz einer Güllebehälter-Abdeckung hat. Die Bandbreite stellt die häufig vorkommenden Betriebe ohne extreme Emissionssituationen dar. Betriebe, die wenig Verluste im Stallbereich haben, wenig weiden und ihre Hofdünger emissionsarm ausbringen (untere, linke Grenze der Bandbreite bzw. Modellbetrieb Lagerverlust\_hoch), erreichen eine gute Kosteneffizienz mit der Abdeckung des Güllebehälters. Wählen sie eine kostengünstige Abdeckungsart, ist diese Reduktionsmassnahme durchaus mit anderen Reduktionsmassnahmen vergleichbar. Für Betriebe, die im Stallbereich und bei der Hofdüngerausbringung hohe Ammoniakverluste aufweisen und/oder viel weiden (obere, rechte Grenze der Bandbreite bzw. Modellbetrieb Lagerverlust\_tief) ist eine Abdeckung der Güllesilos nicht sehr effizient.

Die tiefsten Kosten pro kg eingesparten Ammoniak-Stickstoff werden bei beiden Güllearten mit dem Kegeldach mit Gitterfolie im Selbstbau erreicht. Auch der schwimmende Holzsteller und die Blähtonkugel-Schwimmschicht sind kosteneffizienter als die auf dem Markt erhältlichen Produkte. Für die grösseren Güllebehälter B würde die Kosteneffizienz entsprechend aussehen, allerdings stossen die Selbstbaulösungen (Holzsteller und Kegeldach mit Gitterfolie) für diese Grössen an ihre Grenzen. Durch die feuchte Umgebung ist die Lebensdauer von Holzkonstruktionen beschränkt, weshalb ein Selbstbau nur mit Vorbehalt empfohlen werden kann. Blähtonkugel-Schwimmschichten

werden für Neuanlagen von den zuständigen Vollzugsbehörden bezüglich konstanter Emissionsminderung kritisch beurteilt. Sie stellen allerdings unabhängig von der Grösse des Behälters eine kosteneffiziente Reduktionsmassnahme dar.

Bei der kleineren Behältergrösse A sind die runde Unterflur-Güllegrube mit Betondecke und der Stahl-Email-Silo mit Schwimmfolie bei gleicher Emissionssituation auf dem Betrieb effizienter als das Zelt Dach. Die grössere Kostendegression der Zelt Dachabdeckung bei steigendem Behälterdurchmesser ist auch in der Kosteneffizienz ersichtlich. Dies ist auf die günstigeren Lieferantenpreise pro m<sup>2</sup> Zelt Dach bei grösseren Durchmessern zurückzuführen. Darum liegen bei den grösseren Behältern B alle drei Varianten im gleichen Bereich. Ein Vorteil der Betongüllegrube mit Decke, der nicht in die Kostenberechnung einbezogen wurde, ist die Befahrbarkeit. Sie kann als Abstellfläche oder Mistplatz verwendet werden. Je nach betrieblichen Gegebenheiten kann somit eine konventionelle Betonabdeckung durchaus vergleichbar mit der Abdeckung eines Güllesilos sein.

Güllebehälter-Abdeckungen können auch die Geruchsemissionen reduzieren. Das wird in der Darstellung der beschriebenen Kosteneffizienz nicht berücksichtigt, kann aber, vor allem in Siedlungsnähe, ein weiteres Argument für eine gedeckte Güllelagerung sein.

### Schlussfolgerungen

Für die Landwirte bedeuten Ammoniakemissionen Verluste an pflanzenverfügbarem Stickstoffdünger. In empfindlichen, natürlichen Ökosystemen bewirken sie eine Überdüngung und Versauerung des Bodens. Am meisten Ammoniak geht, betrachtet über alle Bereiche des Betriebs, bei der Ausbringung der Hofdünger verloren. In den in dieser Untersuchung berechneten Modellbetrieben betragen diese je nach Emissionssituation zwischen 41 und 52 % der gesamten Ammoniakemissionen, die der offenen Güllelagerung zwischen 11 und 26 % bei. Der restliche Ammoniak geht vorwiegend in Stall und Laufhof verloren. Obwohl die Verluste bei der Ausbringung höher sind, dürfen die Emissionen aus der Lagerung nicht vernachlässigt werden.

Zum Vergleich verschiedener Abdeckungen bietet die Kosteneffizienz eine ideale

Kennzahl. Sie errechnet sich aus der Division der zusätzlich entstehenden Jahreskosten durch die Einsparung der absoluten Ammoniakverluste bei Abdeckung des Güllebehälters.

Die durch die Abdeckung entstehenden Kosten können durch Einsparungen teilweise wieder kompensiert werden. Leitet eine Abdeckung (Zeltdach oder feste Abdeckung) das Regenwasser ab, kann das erforderliche Lagervolumen reduziert und auch bei der Gülleausbringung Kosten gespart werden, vorausgesetzt, die zusätzliche Verdünnung ist nicht erwünscht. Hierdurch können die Mehrkosten eines Zeltdaches gegenüber einer Schwimmfolie verringert werden. Die Reduktion der Ammoniakverluste bewirkt eine Erhöhung des pflanzenverfügbaren Stickstoffs in der Gülle. Dadurch können Stickstoffmineraldünger eingespart werden.

Unter Berücksichtigung der zusätzlichen Aufwendungen bei Abdeckung und der beschriebenen Einsparungen belaufen sich die zusätzlichen Jahreskosten für die Behälter der Grösse A je nach Abdeckung von Fr. 340.– (Kegeldach mit Gitterfolie) bis Fr. 2220.– pro Behälter und Jahr (Zeltdach). Bei der Grösse B verursacht die Blähtonkugel-Schwimmschicht mit Fr. 540.– die tiefsten und das Zeltdach mit Fr. 2713.– pro Behälter die höchsten zusätzlichen Jahreskosten.

Die berechneten Kosten pro kg eingesparten Ammoniak-Stickstoff reichen von Fr. 6.60 bis 30.50 für Schwimmfolien, von Fr. 8.10 bis 50.50 für Zeltdächer und von Fr. 7.00 bis 29.60 für Betonruben.

Die tiefsten Kosten pro kg eingesparten Ammoniak-Stickstoff werden aufgrund der tieferen zusätzlichen Jahreskosten für beide Güllearten beim Kegeldach mit Gitterfolie im Selbstbau erreicht (Fr. 2.20 bis 13.10 pro  $\text{NH}_3\text{-N}$ ). Auch der schwimmende Holzsteller (Fr. 4.80 bis 20.10 pro kg  $\text{NH}_3\text{-N}$ ) und die Blähtonkugel-Schwimmschicht (Fr. 4.50 bis 20.00 pro kg  $\text{NH}_3\text{-N}$ ) sind kosteneffizienter als die auf dem Markt erhältlichen Produkte. Dies ist einerseits auf die günstigen Abdeckungsmaterialien (Blähton, Stroh, Holz) sowie auf das hohe Eigenleistungspotenzial zurückzuführen. Die Selbstbaulösung kann allerdings wegen der ungewissen Lebensdauer der Tragstruktur aus Holz sowie des beträchtlichen Arbeitsaufwands nur mit Vorbehalt und lediglich für kleine Behälter empfohlen werden. Nachteilig sind bei der Blähtonkugel-Schwimmschicht der Arbeitsaufwand für den Unterhalt und die Ansprüche an das Rührmanagement zur Sicherstellung

einer über das ganze Jahr wirkungsvollen Abdeckung.

Die Kosteneffizienz von Massnahmen zur Reduktion der Ammoniakverluste in anderen Bereichen der Hofdüngerkette liegt im unteren Bereich der Bandbreite von Güllebehälter-Abdeckungen oder ist sogar tiefer. Nach Stadelmann et al. (1996) liegen Massnahmen bei der Hofdüngerausbringung (Verdünnung und bodennahe Ausbringung der Gülle, Einarbeitung von Hofdünger) zwischen Fr. 0.– und 20.– pro kg eingesparten  $\text{NH}_3\text{-N}$ , wobei in diese Zahlen die Kosteneinsparungen nicht einbezogen sind. Im Beispiel von Sauter et al. (2004) beträgt die Kosteneffizienz eines Schleppschlauchverteilers bei Gülleausbringung durch den Lohnunternehmer Fr. 1.15 pro kg eingesparten  $\text{NH}_3\text{-N}$ .

Die Emissionsminderung und somit auch die Kosteneffizienz hängt stark von den für die Berechnung getroffenen Annahmen bei der Hofdüngerkette (zum Beispiel  $\text{N}_{\text{löslich}}$ -Gehalt der Gülle bei der Lagerung, Art der Gülleausbringung) sowie von den festgelegten prozentualen Emissionsreduktionen ab. Die Kosteneffizienz gilt somit nur für Praxissituationen, mit denen die getroffenen Annahmen bezüglich Hofdüngerkette übereinstimmen. Die Literatur-Datengrundlagen zur Ammoniakfreisetzung bei der Lagerung sind zwar breit, wegen der Abhängigkeit der Ammoniakemissionen von vielen Faktoren, den unterschiedlichen Messmethoden und dem Mangel an auswertbaren Untersuchungen unter Praxisbedingungen ist die korrekte Übertragung auf die Praxis schwierig. Sollten zukünftige Messungen unter Praxisbedingungen andere Emissionsreduktionen liefern, sind die Berechnungen der Kosteneffizienz und insbesondere die Emissionsminderung zu überprüfen.

### Literatur

Agrigate, 2005. Richtpreise für Düngemittel in den Monaten Mai und Juni 2005. [www.agrigate.ch](http://www.agrigate.ch).

Ammann H., 2004. Maschinenkosten 2005 – Kostenansätze Gebäudeteile und mechanische Einrichtungen. FAT-Berichte Nr. 621, Agroscope FAT Tänikon.

De Bode M.J.C., 1990. Vergleich der Ammoniakemissionen aus verschiedenen Flüssigmistlagersystemen. KTBL/VDI

(Hrsg.), Ammoniak in der Umwelt: 34.1–34.13.

BLW, BUWAL, 1994. Wegleitung für den Gewässerschutz in der Landwirtschaft (Bereich Hofdünger). Mitteilung zum Gewässerschutz Nr. 15. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern.

Hartung E., 2002. Ammoniak-Emissionen der Rinderhaltung und Minderungsmaßnahmen. KTBL-Schrift 406: 63–72. Darmstadt.

Hilty R., Van Caenegem L., Herzog D., 2005. Preisbaukasten – Baukostensammlung für landwirtschaftliche Betriebsgebäude. Agroscope FAT Tänikon.

Hüther L., Schuchardt F., 1998. Wie lassen sich Schadgasemissionen bei der Lagerung von Gülle und Festmist verringern? KTBL-Arbeitspapier 250: 177–181. Darmstadt.

Karlsson S., 1996. Measures to Reduce Ammonia Losses from Storage Containers for Liquid Manure. AgEng Madrid, Paper 96E-013.

Luftreinhalte-Verordnung, 2004. Luftreinhalte-Verordnung vom 16. Dezember 1985 (Stand am 3. August 2004). SR 814.318.142.1, Schweizerischer Bundesrat, Bern.

Navarotto P., Fabbri C., Guarino M., Valli L., Sonzogni A., 2003. Evaluation of simplified covering systems in the reduction of gaseous emissions from livestock manure storage. 23 S., I-Milano.

Reidy B., Menzi H., 2005. Stand der Produktionstechnik und Hofdüngerewirtschaft. Agrarforschung 12 (8), 368–373.

Reidy B., Rüttimann L., Menzi H., 2004. Modell Dynamo, Version 1. Schweiz. Hochschule für Landwirtschaft (SHL), Zollikofen.

Sauter J., Dux D., Ammann H., 2004. Verteilgenauigkeit von Schleppschlauchverteilern – In der Ebene gut, im Hang unterschiedlich. FAT-Berichte Nr. 617, Agroscope FAT Tänikon.

Sommer S.G., Christensen B.T., Nielsen N.E., Schjørring J.K. 1993. Ammonia volatilization during storage of cattle and pig slurry: effect of surface cover. Journal of Agricultural Science 121, 63–71.

Stadelmann F.X., Achermann B., Lehmann H.-J., Menzi H., Pfefferli S., Sieber U., Zimmermann A., 1996. Ammoniak-Emissionen Schweiz – Stand, Entwicklung, technische und betriebswirtschaftliche Möglichkeiten zur Reduktion, Empfehlungen. Bericht im Auftrag des Bundesamtes für Landwirtschaft (BLW). Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Bern.

Van Caenegem L., Dux D., Steiner B., 2005. Abdeckung für Güllensilos – Technische und finanzielle Hinweise. FAT-Berichte Nr. 631, Agroscope FAT Tänikon.

Williams A.G., 1996. The reduction of ammonia emissions by covering slurry stores. Proceedings of international conference «nitrogen emissions from grasslands» May 1996.



## FAT-Berichte Nr. 642: Kosteneffizienz von Güllebehälter-Abdeckungen

Anfragen über andere landtechnische Probleme sind an die unten aufgeführten Berater für Landtechnik zu richten. Weitere Publikationen und Prüfberichte können direkt bei Agroscope FAT Tänikon, Bibliothek, CH-8356 Ettenhausen angefordert werden, Tel. 052 368 31 31, Fax 052 365 11 90, E-Mail: [doku@fat.admin.ch](mailto:doku@fat.admin.ch), Internet: <http://www.fat.ch>

- ZH** Merk Konrad, Strickhof,  
8315 Lindau, Telefon 052 354 98 11  
Blum Walter, Strickhof,  
8315 Lindau, Telefon 052 354 98 11
- BE** Jutzeler Martin, Inforama Berner Oberland,  
3702 Hondrich, Telefon 033 650 84 30  
Marti Fritz, Inforama Rütli und Waldhof,  
3052 Zollikofen, Telefon 031 910 52 10  
Hofmann Hans Ueli, Inforama Schwand,  
3110 Münsingen, Telefon 031 720 11 21
- LU** Moser Anton, LBBZ Schüpfheim,  
6170 Schüpfheim, Telefon 041 485 88 00  
Hodel René, LMS, 6276 Hohenrain,  
Telefon 041 914 30 05  
Widmer Norbert, LMS,  
6276 Hohenrain, Telefon 041 914 30 77
- UR** Landw. Beratungsdienst, Aprostr. 44,  
6462 Seedorf, Telefon 041 871 05 66
- SZ** Landolt Hugo, Landw. Schule Pfäffikon,  
8808 Pfäffikon, Telefon 055 415 79 22
- OW** Müller Erwin, BWZ Obwalden,  
6074 Giswil, Telefon 041 675 16 16  
Landwirtschaftsamt, St. Antonistr. 4,  
6061 Sarnen, Telefon 041 666 63 58
- NW** Wolf Franz, Landwirtschaftsamt,  
Kreuzstr. 2, 6371 Stans,  
Telefon 041 618 40 07
- GL** Amt für Landwirtschaft, Postgasse 29,  
8750 Glarus, Telefon 055 646 67 00
- ZG** Gut Willy, LBBZ Schluechthof,  
6330 Cham, Telefon 041 784 50 50  
Furrer Jules, LBBZ Schluechthof,  
6330 Cham, Telefon 041 784 50 50
- FR** Kilchherr Hansruedi, Landw. Schule Grangeneuve  
1725 Posieux, Telefon 026 305 58 50
- SO** Wyss Stefan, Landw. Bildungszentrum Wallierhof,  
4533 Riedholz, Telefon 032 627 09 62
- BL** Ziörjen Fritz, Landw. Zentrum Ebenrain,  
4450 Sissach, Telefon 061 976 21 21
- SH** Landw. Beratungszentrum Charlottenfels,  
8212 Neuhausen, Telefon 052 674 05 20
- AI** Inauen Bruno, Gaiserstrasse 8,  
9050 Appenzell, Telefon 071 788 95 76
- AR** Vuilleumier Marc, Landwirtschaftsamt AR,  
9102 Herisau, Telefon 071 353 67 56
- SG** Lehmann Ueli, LBBZ Rheinhof,  
9465 Salez, Telefon 081 758 13 19  
Steiner Gallus, Landw. Schule Flawil,  
9230 Flawil, Telefon 071 394 53 53
- GR** Föhn Josef, Landw. Schule Plantahof,  
7302 Landquart, Telefon 081 307 45 25
- AG** Müri Paul, Berufsbildung, Weiterbildung und  
Beratung Liebegg, 5722 Gränichen,  
Telefon 062 855 86 27
- TG** Baumgartner Christof, Fachstelle  
Beratung und Landtechnik, Amriswilerstr. 50,  
8570 Weinfelden, Telefon 071 622 10 23
- TI** Müller Antonio, Ufficio consulenza agricola,  
6501 Bellinzona, Telefon 091 814 35 53

Landwirtschaftliche Beratungszentrale, Abt. Landtechnik, 8315 Lindau, Telefon 052 354 97 58

### Impressum

Herausgeber: Agroscope FAT Tänikon, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT),  
CH-8356 Ettenhausen

Die FAT-Berichte erscheinen in rund 20 Nummern pro Jahr. – Jahresabonnement Fr. 60.–. Bestellung von Abonnements und Einzelnummern: Agroscope FAT Tänikon, Bibliothek, CH-8356 Ettenhausen. Tel. 052 368 31 31, Fax 052 365 11 90, E-Mail: [doku@fat.admin.ch](mailto:doku@fat.admin.ch), Internet: <http://www.fat.ch>

Die FAT-Berichte sind auch in französischer Sprache als «Rapports FAT» erhältlich.  
ISSN 1018-502X.