

Helmut Döhler, Robert Vandré, Regina R bler und Sebastian Wulf

# Ammoniakemissionen: Minderungskosten bei der Ausbringung von Flüssigmist

Die Kostenberechnungen für Maßnahmen zur Minderung von Ammoniakemissionen aus der Landwirtschaft wurden durch das KTBL aktualisiert. Im vorliegenden Beitrag werden die Minderungskosten für Maßnahmen bei der Fl ssigmistausbringung dargestellt. Je nach jährlich auszubringender Menge und je nach Technik treten Ausbringungskosten zwischen 2,5 und > 10 €/m<sup>3</sup> auf. Als Minderungsverfahren ist bei geringen jährlichen Ausbringmengen von Rinder- und Schweinegülle die absetzige Einarbeitung mit 0,6–0,8 €/kg NH<sub>3</sub> besonders kosteneffektiv. Bei hohen Mengen und geteilten Ausbringverfahren ist die direkte Einarbeitung durch Güllegrubber mit 0,4–0,6 €/kg NH<sub>3</sub> effektiver.

## Schl sselw rter

Ammoniakemissionen, Ammoniakminderung, Kosten, Fl ssigmist, Gülleausbringung

## Keywords

Ammonia emissions, ammonia abatement, costs, liquid manure, slurry application

## Abstract

Döhler, Helmut; Vandré, Robert; R bler, Regina and Wulf, Sebastian

## Ammonia emissions: Abatement costs for the application of liquid manure

Landtechnik 66 (2011), no. 6, pp. 469–472, 2 figures, 1 table, 6 references

The KTBL has updated calculations of the costs of measures to reduce ammonia emissions. In the present paper the results for liquid manure application are presented. Depending on the annual amount of slurry and on the techniques used application costs range from 2.5 to 10 €/m<sup>3</sup>. Considering small amounts of pig or cattle slurry, notably the separate incorporation of the slurry with conventional soil cultivation equipment is cost effective (0,6–0,8 €/kg NH<sub>3</sub>). At high annual amounts of manure to be spread, ammonia abatement by the use of a slurry cultivator is more cost effective (0,4–0,6 €/kg NH<sub>3</sub>).

■ Ammoniakemissionen tragen zur Versauerung und Eutrophierung von  kosystemen bei und sind indirekt klimawirksam. Sie stammen in Deutschland zu 95 % aus landwirtschaftlichen Quellen, und hiervon wiederum zu 82 % aus der Tierhaltung [1; 2]. Um die international vereinbarte Höchstgrenze für Deutschland von 550 kt NH<sub>3</sub> pro Jahr dauerhaft und verlässlich einzuhalten, müssen in der Landwirtschaft wirksame Maßnahmen zur Minderung der Emissionen durchgeführt werden. Für die Minderung von Ammoniakemissionen aus der Tierhaltung stehen bei der Fütterung, bei den Haltungsverfahren und beim Wirtschaftsd ngermanagement Maßnahmen zur Verfügung. Im Rahmen eines vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz sowie vom Umweltbundesamt finanziell unterstützten Projektes wurden Minderungsmaßnahmen durch das KTBL erneut bewertet und die Minderungskosten berechnet [3]. Im vorliegenden Beitrag werden die Ergebnisse für die Fl ssigmistausbringung dargestellt. Ammoniakverluste bei der Ausbringung von Wirtschaftsdüngern können durch Einsatz emissionsmindernder Techniken und organisatorische Maßnahmen gesenkt werden. Berechnet wurden neben dem herk mmlchen Breitverteiler Schleppschlauch- und Schleppschuhverteiler sowie Schlitztechniken, Einarbeitung und Verdünnung.

## Ammoniakminderungskosten: Methodik

Die Minderung von Ammoniakemissionen wird als Differenz eines Verfahrens ohne Minderungsmaßnahme (Referenzsystem) zu einem mit Minderungsmaßnahme bestimmt. Referenzsystem für die Fl ssigmistausbringung ist die gleichmäßige oberflächliche Ausbringung („Breitverteiler“). Betrachtet werden hier die Ausbringung von Rinder- und Schweinegülle auf

Flächen ohne oder mit niedrigem Pflanzenbestand. Bei einer Temperatur von etwa 15 °C zum Zeitpunkt der Ausbringung ist für die Referenztechnik „Breitverteiler“ für Rindergülle ein NH<sub>3</sub>-Verlust von 50 % des Ammoniumstickstoffs und für Schweinegülle von 25 % zu erwarten [4].

Zur Bestimmung der Minderungskosten werden sämtliche Mehraufwendungen, die mit einer Minderungsmaßnahme zusammenhängen, berücksichtigt [5; 6]. Diese Mehraufwendungen entsprechen der Differenz der Verfahrenskosten ohne und mit Anwendung der Minderungsmaßnahme. Zur Berechnung werden die Kostendifferenzen aller abweichenden Verfahrensschritte summiert. Wenn Verfahrensschritte neben der Ammoniakminderung weiteren Verfahrenszwecken dienen, müssen die Kosten anteilig den verschiedenen Zwecken zugerechnet werden (Allokation). Dies ist beispielsweise bei der absetzigen Bodenbearbeitung nach der Gülleausbringung der Fall. Bei Einarbeitung innerhalb einer Stunde nach Ausbringung wurden 50 % der Mehraufwendungen der Ammoniakminderung zugerechnet, innerhalb von vier Stunden 30 %.

Den Mehraufwendungen können Kosteneinsparungen, die sich aus der Minderungsmaßnahme ergeben, gegenüberstellen. Diese werden gesondert ausgewiesen und mit den Mehraufwendungen verrechnet, soweit sie direkt durch die Verfahrensschritte der Minderungsmaßnahme bewirkt werden.

### Wirtschaftsdüngerausbringung

Fünf Verfahren wurden definiert, die mit jährlichen Verfahrensleistungen von 1 000 bis 100 000 m<sup>3</sup> in etwa die Spannweite der in der Praxis eingesetzten Verfahren zur Ausbringung von Gülle widerspiegeln (**Tabelle 1**). Das Verfahren 1 000 m<sup>3</sup> steht für eine betriebswirtschaftlich suboptimale einzelbetriebliche Variante mit Eigenmechanisierung. 3 000 m<sup>3</sup> entsprechen einem etwas größeren Betrieb oder einer überbetrieblichen Gemeinschaft mehrerer kleinerer Betriebe, die das Ausbringungs-

gerät gemeinsam nutzen. Die Menge von 10 000 m<sup>3</sup> rechtfertigt die Investition in eine schlagkräftigere Technik und charakterisiert eine überbetriebliche Gemeinschaft oder einen größeren Betrieb. 30 000 und 100 000 m<sup>3</sup> bilden den Bereich der Lohnunternehmer und Großbetriebe ab. Diese Mengen werden wirtschaftlich sinnvoll mit in Transport- und Ausbringeneinheiten geteilten Verfahren ausgebracht.

### Emissionsmindernde Ausbringetechniken

Neben gezogenen Kompressor- und Pumptankwagen setzen sich vor allem in Regionen mit großen Schlägen zunehmend Trägerfahrzeuge für die Gülleausbringung durch. Die Trägerfahrzeuge werden mit entsprechenden Tankbehältern und einer Applikationstechnik ausgerüstet. Wegen der hohen Investition sind diese Fahrzeuge nur im überbetrieblichen Einsatz sinnvoll.

Heute werden noch überwiegend **Breitverteilungssysteme** (Prallblech, Gestängeverteiler, Schwenkverteiler) eingesetzt. Diese werden vor allem in Großbetrieben und im überbetrieblichen Einsatz zunehmend von den folgenden emissionsarmen Verteilssystemen abgelöst, die auf eine Reduzierung der emittierenden Oberfläche und eine Verkürzung der Verweilzeit der Gülle auf dem Boden abzielen.

Beim **Schleppschlauch** wird die Gülle durch Schläuche in Streifen auf dem Boden abgelegt. Die NH<sub>3</sub>-Verluste können gegenüber dem Breitverteiler besonders in wachsenden Pflanzenbeständen und bei Ausbringung dünnflüssiger Gülle verringert werden. Für die Minderung können 30 bzw. 20 % für Schweine- bzw. Rindergülle angesetzt werden [4]. Die Wirkung ist bei Rindergülle wegen des hohen Trockenmassegehalts geringer, da die Güllestreifen eintrocknen können, ohne in den Boden einzudringen. Schleppschlauchverteiler besitzen eine Arbeitsbreite von 6 bis 36 m. Die einzelnen Ablaufschläuche sind in einem Abstand von 20 bis 40 cm zueinander angeordnet.

Tab. 1

Charakterisierung der berechneten Ausbringungsverfahren

Table 1: Characterization of the calculated spreading techniques

Insgesamt ausgebrachte Güllemenge pro Jahr <i>Total annual slurry quantity [m<sup>3</sup>/a]</i>	Verfahren <i>Technique</i>	Verfahrenskomponenten <i>Components of the technique</i>
1 000	kontinuierlich <i>continuous</i>	traktorgezogener Pumptankwagen, 10 m <sup>3</sup> <i>tractor-drawn pump tanker, 10 m<sup>3</sup></i>
3 000	kontinuierlich <i>continuous</i>	traktorgezogener Pumptankwagen, 10 m <sup>3</sup> <i>tractor-drawn pump tanker, 10 m<sup>3</sup></i>
10 000	kontinuierlich <i>continuous</i>	traktorgezogener Pumptankwagen, 15 m <sup>3</sup> <i>tractor-drawn pump tanker, 15 m<sup>3</sup></i>
30 000	geteilt <i>discontinuous</i>	Transport: traktorgezogener Pumptankwagen, 21 m <sup>3</sup> <i>transport: tractor-drawn pump tanker, 21 m<sup>3</sup></i>
		Ausbringung: traktorgezogener Pumptankwagen, 10 m <sup>3</sup> <i>application: tractor-drawn pump tanker, 10 m<sup>3</sup></i>
100 000	geteilt <i>discontinuous</i>	Transport: traktorgezogene Pumptankwagen, 21 m <sup>3</sup> <i>transport: tractor-drawn pump tanker, 21 m<sup>3</sup></i>
		Ausbringung: Trägerfahrzeug, 21 m <sup>3</sup> <i>application: self-propelled spreader, 21 m<sup>3</sup></i>

Der **Schleppschuhverteiler** ist eine Weiterentwicklung des Schleppschlauchs und für Grünland geeignet. Am Ende jedes Schlauches drückt eine „schuhförmige“ Verstärkung den Pflanzenbestand zur Seite und verteilt die Gülle auf und in den oberen Bodenbereich (0–3 cm). Wie beim Schleppschlauchverteiler ist das Minderungspotenzial für die dünnflüssigere Schweinegülle mit 50 % größer als bei Rindergülle mit 40 %. Schleppschuhverteiler besitzen eine Arbeitsbreite von 3 bis 18 m.

**Schlitztechniken** haben ein noch höheres Potenzial zur Minderung von Ammoniakverlusten (60 %) und sind für die Ausbringung auf Grünland und in wachsende Ackerkulturen geeignet. Die Applikation erfolgt mithilfe einer schuhähnlichen Verstärkung in einen Schlitz, der durch eine vorweg geführte Schneidscheibe bzw. ein Stahlmesser erzeugt wird. Verschmutzungen des Pflanzenbestandes werden wirksam vermieden, jedoch wird die Grasnarbe verletzt. Der Zugkraftbedarf bedingt geringere Arbeitsbreiten von 6 bis 9 m.

Das höchste Minderungspotenzial für  $\text{NH}_3$ -Emissionen mit 90 % besitzen **Güllegrubber** mit Arbeitsbreiten von 3 bis 6 m. Der Boden wird mit Grubberzinken oder Hohlscheiben bearbeitet, in deren unmittelbarer Verlängerung die Gülle in den Erdstrom abgelegt wird. Hierfür ist eine erhöhte Zugkraft erforderlich.

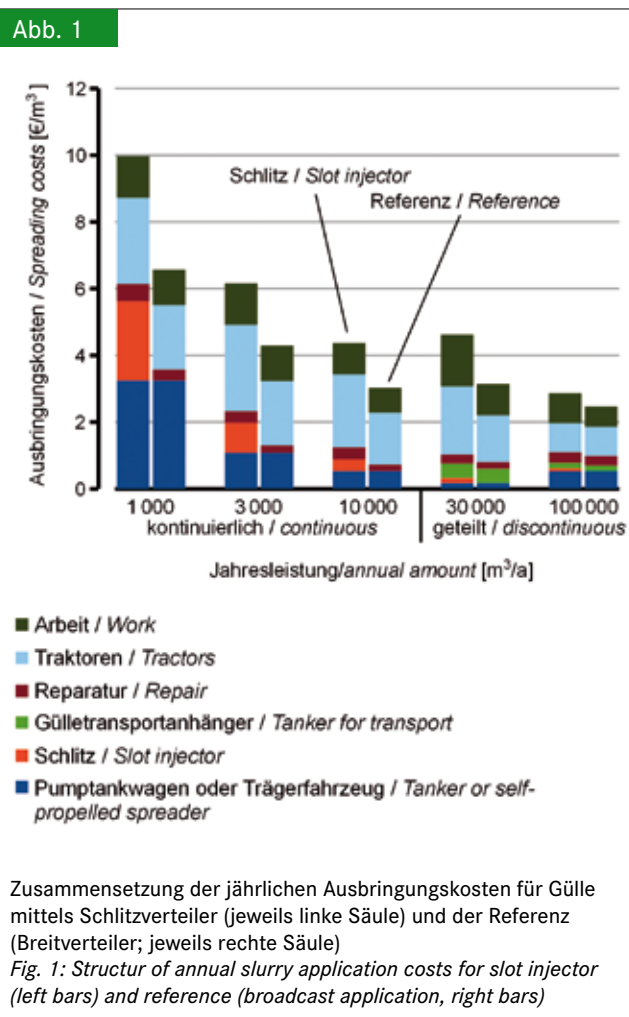
Nach der Ausbringung mit Breitverteiler kann auch eine **absetzige Einarbeitung** mit herkömmlichen Bodenbearbeitungsgeräten durchgeführt werden. Bei Einarbeitung innerhalb von einer Stunde entspricht das Minderungspotenzial annähernd dem Güllegrubber. Es ist mit 70 bzw. 50 % für Schweine- bzw. Rindergülle deutlich geringer, wenn die Einarbeitung innerhalb von 4 Stunden nach Ausbringung erfolgt.

Schließlich kann durch **Verdünnung** die Fließfähigkeit von Rindergülle erhöht und somit ein schnelleres Eindringen in den Boden gefördert werden. Das Minderungspotenzial einer Verdünnung im Verhältnis 1 : 1 beträgt 50 %.

### Kosten der Ausbringung und Emissionsminderung

Sowohl die Kosten der Ausbringung als auch die Emissionsminderung hängen von der Auslastung der Verfahren zur Gülleausbringung und der Art der Technik zur Emissionsminderung ab. Während das einzelbetriebliche Verfahren bei geringer Güllemenge (1 000  $\text{m}^3/\text{a}$ ) je nach gewählter Technik Kosten von etwa 7–11 €/m<sup>3</sup> verursacht, nehmen diese mit steigenden jährlich ausgebrachten Mengen ab: Bei 10 000  $\text{m}^3/\text{a}$  auf 3–6 €/m<sup>3</sup> und bei 100 000  $\text{m}^3/\text{a}$  auf 2,5–4,5 €/m<sup>3</sup>. Einzelbetriebliche Verfahren haben den Vorteil, dass die Gülle bei Witterungsbedingungen (feucht-kühl) oder zu Tageszeiten (Abendstunden) ausgebracht werden kann, die günstig hinsichtlich der Emissionen sind. Neben der Verfahrensleistung haben unterschiedliche Stundenleistungen Einfluss auf die Gesamtkosten. Dies macht beispielsweise bei 3 000  $\text{m}^3/\text{a}$  1–2 €/m<sup>3</sup> aus.

Die jährlichen Mehrkosten für eine emissionsmindernde Ausbringung werden bei geringen Verfahrensleistungen durch die Investition für eine aufwändigere Technik verursacht und bei höheren Auslastungen vor allem durch Aufwendungen für



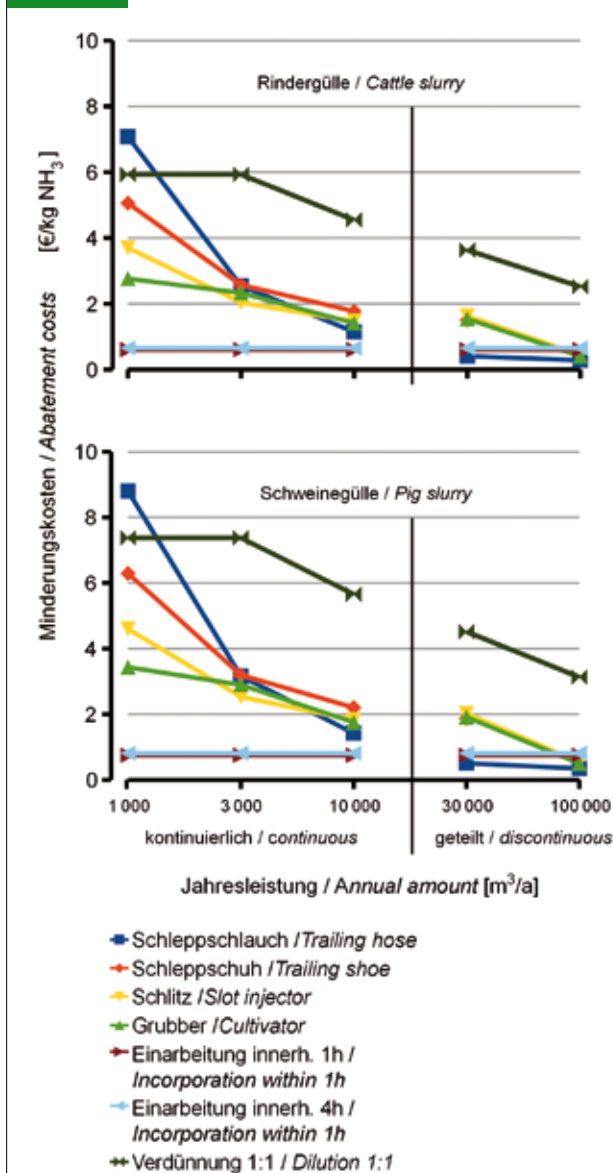
Zugmaschinen und Arbeit. Dies zeigt **Abbildung 1** exemplarisch für den Gülleschlitz.

Den Mehrkosten für die Emissionsminderung steht ein erhöhter Düngewert der Gülle gegenüber. Emissionsminderungen von 20–90 % bei Rinder- bzw. 30–90 % bei Schweinegülle im Vergleich zur Referenz bedeuten eine Stickstoffkonservierung im Wert von 0,2–1 € pro  $\text{m}^3$  Rinder- bzw. 0,3–0,8 € pro  $\text{m}^3$  Schweinegülle. Dieser Mehrwert wird bei der Ermittlung der Minderungskosten jedoch nicht berücksichtigt. Bei Anrechnung des Stickstoffwertes werden für 30 000  $\text{m}^3/\text{a}$  die Schleppschlauchausbringung und die absetzige Einarbeitung und für 100 000  $\text{m}^3/\text{a}$  zusätzlich die Varianten Schlitz und Grubber kostenneutral bzw. kostensparend.

Die Emissionsminderungskosten betragen unter den betrachteten Bedingungen zwischen 0,3 und 7 €/kg  $\text{NH}_3$  für Rindergülle (**Abbildung 2 oben**) bzw. 0,3–9 €/kg  $\text{NH}_3$  für Schweinegülle (**Abbildung 2 unten**). Insgesamt sind die Emissionsminderungskosten für Schweinegülle höher als für Rindergülle, da die Emissionen und damit der Effekt der Emissionsminderung aus Schweinegülle geringer als bei Rindergülle sind.

Sehr kosteneffizient – auch für Einzelbetriebe mit geringer Güllemenge – ist die Einarbeitung mit einem separaten Traktor mit einem Bodenbearbeitungsgerät (Grubber, Schei-

Abb. 2



Emissionsminderungskosten bei Rindergülle (oben) und Schweinegülle (unten)

Fig. 2: Emission abatement costs for cattle slurry (upper chart) and pig slurry (lower chart)

benegge). Hierbei fallen durch die Allokation der Kosten zu Bodenbearbeitung (70 %) und Emissionsminderung (30 %; für Einarbeitung innerhalb von 4 Stunden) Minderungskosten von 0,6 €/kg NH<sub>3</sub> für Rinder- bzw. 0,8 €/kg NH<sub>3</sub> für Schweinegülle an. Ohne Allokation wären es 2 bzw. 2,7 €/kg NH<sub>3</sub>. Dagegen ist die Verdünnung von Rindergülle mit Wasser zwar eine wirksame, aber sehr kostenträchtige Variante, weil höhere Mengen transportiert und ausgebracht werden müssen.

Einzelbetriebliche Verfahren (1000 m<sup>3</sup>/a) mit Anbaugeräten (z. B. Schleppschauch) eignen sich bei Kosten von etwa 3–7 €/kg NH<sub>3</sub> nur bedingt zu einer kosteneffizienten Emissionsminderung. Bei Jahresleistungen von 3000 m<sup>3</sup>/a sind die Minderungskosten niedriger, jedoch immer noch auf einem Niveau von etwa 2–3 €/kg NH<sub>3</sub>. Ein Kostenniveau von 1–2 €/kg

NH<sub>3</sub> wird – abgesehen von absetzigen Einarbeitungsverfahren – erst bei Verfahrensleistungen ab 10000 m<sup>3</sup>/a erreicht.

Bei geringen jährlich ausgebrachten Mengen sind die Minderungskosten für aufwändige Techniken (Güleschlitz) niedriger als für den Schleppschauch. Bei hohen jährlichen Verfahrensleistungen weisen dagegen Schleppschauchverfahren geringere Minderungskosten als die Verfahren auf, die die Gülle in den Boden einbringen. Letztere haben jedoch den Vorzug, dass sie deutlich größere Mengen an NH<sub>3</sub>-Emissionen vermeiden und die Minderungspotenziale besser ausschöpfen.

### Schlussfolgerungen

Mit geeigneter Technik und Arbeitsorganisation lassen sich die Ammoniakemissionen bei der Gülleausbringung kosteneffizient mindern. Die absetzige Einarbeitung ist unabhängig von der Verfahrensleistung mit Minderungskosten deutlich unter 1 €/kg NH<sub>3</sub> verbunden und lässt sich somit auch auf kleineren Betrieben realisieren. Verfahren mit Anbaugeräten erreichen oder unterschreiten dieses Kostenniveau nur bei hohen Verfahrensleistungen. Unter günstigen Voraussetzungen, d. h. wenn es gelingt durch den konservierten Stickstoff die Aufwendungen für Mineraldünger zu verringern, können die erhöhten Ausbringkosten durch Einsparungen für Düngemittel nahezu vollständig kompensiert werden.

### Literatur

- [1] Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2011): Agrarpolitischer Bericht der Bundesregierung 2011
- [2] Haenel, H. D.; Rösemann, C.; Dämmgen, U.; Döhler, H.; Eurich-Menden, B.; Laubach, P.; Müller-Lindenlauf, M.; Osterburg B. (2010): Berechnung der Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft – Nationaler Emissionsbericht (NIR) 2010 für 2008. Landbauforschung, Sonderheft 334, Braunschweig
- [3] Döhler, H.; Eurich-Menden, B.; Rößler, R.; Vandré, R.; Wulf, S. (2011): Systematische Kosten-Nutzen-Analyse von Minderungsmaßnahmen für Ammoniakemissionen in der Landwirtschaft für nationale Kostenabschätzungen. Unveröffentlichter Endbericht zum UBA Vorhaben FKZ 312 01 287
- [4] Döhler, H.; Eurich-Menden, B.; Dämmgen, U.; Osterburg, B.; Lüttich, M.; Bergschmidt, A.; Berg, W.; Brunsch, R. (2002): BMELV/UBA-Ammoniak-Emissionsinventar der deutschen Landwirtschaft und Minderungsszenarien bis zum Jahr 2010. Forschungsbericht 299 42 245/02. Texte 05/02. Umweltbundesamt, Berlin
- [5] European Commission (2003): Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC): Reference Document on Best Available Techniques for Intensive Rearing of Poultry and Pigs (ILF). [http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/brefdownload/download\\_IRPP.cfm](http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/brefdownload/download_IRPP.cfm), Zugriff am 06.01.2011
- [6] UN/ECE (2007): Guidance Document on Control Techniques for Preventing and Abating Emissions of Ammonia. <http://www.unece.org/env/documents/2007/eb/wg5/WGSR40/ece.eb.air.wg.5.2007.13.e.pdf>, Zugriff am 23.09.2010

### Autoren

Dipl.-Ing. Helmut Döhler, Dr. Robert Vandré, Dr. Regina Rößler und Dr. Sebastian Wulf sind wissenschaftliche Mitarbeiter beim Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Bartningstraße 49, 64289 Darmstadt, E-Mail: h.doehler@ktbl.de

### Danksagung

Die vorliegende Untersuchung wurde durchgeführt mit Förderung durch das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages, sowie mit finanzieller Unterstützung durch das Umweltbundesamt.