

Emissionsreduktion bei Haltung auf Spaltenböden

Bewertung eines neuartigen Reinigungsverfahrens

Heiko Georg^{1*} und Stefanie Retz¹

Zusammenfassung

Die Laufstallhaltung von Rindern trägt in hohem Maß zu den Gesamtemissionen von Ammoniak bei. Als eine wichtige Quelle können Laufflächen wie Spaltenböden angesehen werden. Daher war das Ziel unserer Untersuchungen, die Auswirkungen eines Reinigungssystems für Spaltenböden auf die Ammoniakemissionen in der Rinderhaltung zu bewerten. Das Reinigungsgerät stellt eine Kombination von Hochdruck-Wasserdüsen, mechanischer Sternwalze und einem Gummischieber dar. Für das Experiment wurden sechs austauschbare Spaltenbodenelemente aus dem bestehenden Boden in einem 15 Jahre alten Milchviehstall heraus geschnitten. Auf diese Weise konnten die Testelemente von anderen Ammoniakemissionsquellen getrennt und in separaten geschlossenen Kammern beprobt werden. Mit Hilfe von Membranpumpen wurde die ammoniakhaltige Luft aus den Kammern durch Waschflaschen mit Schwefelsäurelösung gesaugt. Dadurch konnte der Ammoniak gebunden werden und später mit Hilfe eines Photometers quantitativ bestimmt werden. Im Vergleich zu den unbehandelten Kontrollspalten, konnte eine Verringerung der Ammoniakemissionen zwischen 32,7 und 43,8 % im zeitlichen Abstand von 4 und 6 Stunden nach der Reinigung gemessen werden. Der Weidegang im Sommer wirkte sich ebenfalls aus und hatte einen Nebeneffekt auf die Viskosität der Gülle. Die Reduzierung von Ammoniakemissionen durch ein Spaltenbodenreinigungssystem konnte nachgewiesen werden, allerdings bleiben die erklärenden Faktoren nach wie vor komplex.

Schlagwörter:

Ammoniakemissionen, Spaltenboden, Rinder, Reinigungsgerät

Summary

Cattle loose housing systems contribute highly to the total emission of ammonia. As main source soiled walking areas like slatted floors are suspected. Thus, the aim of our investigations was to evaluate the impact of the manure removal from slatted floors on the ammonia emission in cattle housing.

The cleaning device used was a combination of high-pressure water nozzles, mechanical star discharge rotors and a rubber-scraper.

For the experiment, six exchangeable concrete slatted floor elements were cut out of an existing floor in a 15 years old dairy house.

This way the test elements could be separated from other sources of ammonia emission and were moved into closed chambers. Via membrane pumps the air carrying emitted ammonia from the slats was pumped through a solution of sulphuric acid and determined quantitatively in a laboratory later by using a photometer.

Compared to untreated control slats, a reduction of the ammonia emission between 32.7 and 43.8 % could be observed 4 and 6 hours after cleaning. Effects of grazing during summer could be observed as well and had a side-effect on viscosity of the manure. Ammonia reduction on slatted floors by using a cleaning device could be demonstrated but explaining factors remain still complex.

Keywords

Ammonia emission, slatted floor, cattle, cleaning device

Einleitung

Die Rinderhaltung trägt in beträchtlichem Umfang zur Emission von Treibhausgasen und Ammoniak bei. Durch die moderne und tiergerechte Laufstallhaltung wird, im Vergleich zur früher üblichen Anbindehaltung von Kühen, die emittierende Fläche vergrößert, um den Tieren eine annähernd artgerechte Haltungsumgebung zu gewähren.

In Deutschland hat sich der Entwicklungsprozess von der Anbinde- zur Laufstallhaltung in den vergangenen 10 Jahren

sehr beschleunigt. Nach aktuellen Daten des statistischen Bundesamts (2011) wurde im Jahr 2010 die Hälfte der insgesamt 12,6 Millionen Rinder in Laufstallsystemen mit Gülleentmistung gehalten, weitere 24 % der Stallplätze entfielen auf Laufställe mit Festmist. Stallplätze in Anbindehaltung (Gülle und Festmist) haben noch einen Anteil von 21 %. Betrachtet man ausschließlich die Milchkühe, beträgt der Anteil an Stallplätzen im Laufstall auf Güllebasis 62 %. Diese für das Tierwohl vorteilhafte Entwicklung wird oft im Gegensatz zur negativen Umweltwirkung durch die ver-

¹ Johann Heinrich von Thünen-Institut, Institut für Ökologischen Landbau, Trenthorst 32, D-23847 WESTERAU

* Ansprechperson: Dr. Heiko Georg, E-mail-Adresse: heiko.georg@vti.bund.de

größte emittierende Fläche gesehen. Für die Reduzierung der Ammoniakemissionen müssen daher neue Lösungen gefunden werden, bei der Umwelt und Tierschutz miteinander im Einklang stehen.

Ein großer Anteil der Ammoniakemissionen aus der Laufstallhaltung von Rindern geht von den Laufflächen aus, sie tragen mit 60 – 70 % zu den Gesamtemissionen an Ammoniak bei. Die verschmutzte Oberfläche in den Laufgängen ist dabei die Hauptursache, die insbesondere bei Spaltenböden zum Problem wird. Spaltenböden sollten eigentlich einen Selbstreinigungseffekt besitzen, der aber in der Praxis nicht zu finden ist. In vielen Milchviehbetrieben wird daher ein stationärer oder mobiler Schieber zum Abschieben der Spalten eingesetzt. Die in den vergangenen Jahren auf den Markt gekommenen mobilen „Spaltenroboter“ verdeutlichen ebenfalls den Bedarf einer zusätzlichen Reinigung für Spaltenböden. Durch das Abschieben der Spalten wird zwar eine oberflächliche Reinigung der Spalten erreicht, die Spaltenzwischenräume werden aber je nach Kotkonsistenz zugeschoben und damit das Problem der fehlenden Durchlässigkeit nicht gelöst. Eine Minderung der Ammoniakemissionen durch ausschließliches Abschieben ist nicht zu erwarten. Durch das Zusammentreffen von Kot (in den Spaltenzwischenräumen und auf den Spalten) und Harn wird mit Hilfe des Enzyms Urease aus dem Kot der im Harn vorkommende Harnstoff in Ammoniak und Kohlendioxid gespalten.

Durch eine effiziente Reinigung der Spaltenböden in Rinderställen könnten die Emissionen von Ammoniak reduziert und ein positiver Beitrag zum Klimaschutz geleistet werden. Insbesondere ein Nass-Reinigungsverfahren für Spaltenböden hätte das Potential, die Emission von Ammoniak in größerem Umfang zu reduzieren. In der Praxis wurden solche Ansätze aufgrund des hohen Wasserverbrauchs und der damit verbundenen drastischen Erhöhung des Güllevolumens bislang nicht weiter verfolgt.

Bereits in den 90er Jahren wurde ein Zusammenhang zwischen der Reinigung der Laufflächen und der Emission von Ammoniak in Rinderställen nachgewiesen. Mit einem aufwändigen Spülverfahren (Flushing-System) konnten VOORBURG und KROODSMA (1992) z. B. eine Reduzierung der Emissionen um bis zu 66 % erzielen. Der hohe Wasserverbrauch führte jedoch zu einer ungewollten Verdopplung der Güllemenge. Andere Entwicklungen zielten vor allem auf Minimierung der Emissionen durch verändertes Bodendesign und angepasste Schieberformen hin, wie z. B. der Rillenboden (SWIERSTRA et al. 1995). Der so genannte Top-Boden, ein Teilspaltensystem mit Ablaufrinnen quer zur Laufrichtung und Gefälle, erzielte zusätzlich ausgestattet mit einem speziellen Sprüh-Schieber, eine bis zu 50 %ige Minderung der Emissionen. Eine Nachrüstung bestehender Stallanlagen mit diesen Böden ist hinsichtlich Aufwand und Kosten jedoch wenig realistisch.

Eine effiziente Reinigung von Laufflächen fordern auch ZÄHNER et al. (2005) zur Minderung der Ammoniakemissionen aus der Rinderhaltung.

Zielsetzung

Ziel unserer Untersuchung war es daher, ein effizientes Reinigungssystem für Spaltenböden zu entwickeln, das die Vorteile einer Nassreinigung mit denen einer effizienten

mechanischen Reinigung kombiniert und die Ammoniakemissionen von Spaltenböden potenziell um 50 % reduziert. Dabei sollte der Wasserverbrauch so minimal wie möglich gehalten werden. Durch die Kombination verschiedener Reinigungsverfahren, wie Hochdruck-Nassreinigung, Gummischieber und einer Reinigung des Spaltenzwischenraums in einem Reinigungsaggregat sollte im Projekt ein verbessertes Verfahren mit maximalem Reinigungseffekt und dem Ziel minimaler Ammoniakemissionen entwickelt werden. Das System sollte außerdem mobil und variabel in bestehenden Stallanlagen und auf den vorhandenen Spaltenböden einsetzbar sein. Zum Nachweis der reduzierenden Wirkung auf Ammoniakemissionen sollten in einem praktischen Versuchsansatz eine gereinigte Spaltenbodenvariante mit einem unbehandelten Spaltenboden bezüglich der Ammoniakemissionen verglichen werden.

Material und Methoden

Für die Entwicklung eines solchen Systems bot sich als Technologiebasis ein System der Fa. Westermann an, die bereits über weit reichende Erfahrungen beim Bau von Trockenreinigungsgeräten für Spaltenböden verfügt. Auf der Basis vorhandener Maschinen wurde ein Prototyp zur Spaltenreinigung entwickelt, der mit Hochdruckdüsen (Nassreinigung), Zwischenspaltreinigung und Gummischieber arbeiten soll (s. *Abbildung 1*). Im Projekt wurden folgende Fragestellungen untersucht:

Die Reduzierung der Ammoniakemissionen nach der Reinigung des Spaltenbodens im Vergleich zu nicht gereinigten Spaltenbodenbereichen im selben Stall. Zusätzlich sollte auch die zeitliche Wirkung des Reinigungseffekts bewertet werden. D. h. nach welchem Zeitraum die Ammoniak reduzierende Wirkung nachlässt.

Die mechanische Reinigungswirkung des Versuchsgerätes wurde durch die Verwiegung der Beprobungsspalten vor und nach der Reinigung erhoben. Jedes Spalten(teil-)element war vor dem Versuch hochdruckgereinigt worden und dann in nassem und trockenem Zustand gewogen worden.

Prüfstrecke

Die optimale Reinigungswirkung für Spaltenzwischenräume und Laufflächen durch die Kombination von mechanischer Reinigung und Hochdruckverfahren wurde auf einer Art Prüfstand außerhalb des Stalles nachempfunden, um die mechanische Reinigungsleistung in Form gravimetrisch bestimmter Verschmutzung und die Ammoniakemissionen bestimmen zu können. Au dem Prüfstand wurden die einzelnen Reinigungskomponenten Wasser, Schieber und Sternwalze getrennt und auch in Kombination untersucht. Als zusätzlich vierte Komponente wurden die Spaltenelemente mit Druckluft nach der Reinigung getrocknet.

Ammoniak-Messung

Üblicherweise werden die Emissionen von frei gelüfteten Rinderställen im Stall oder in der Abluft der Gebäude gemessen. Dazu wäre eine Abschätzung des Volumenstroms notwendig, der entweder über Tracergasmessungen oder die Abklingrate (Verdünnung) radioaktiver Gase (Krypton 85) berechnet werden kann. Die Emissionsmessung im Stall im Parallel-Betrieb würde zwei absolut identische

Gebäude notwendig machen und wäre trotzdem zusätzlich durch die Strömungsbedingungen in den Gebäuden beeinflusst. All diese schwer kalkulierbaren Effekte könnten den interessierenden Reinigungseffekt überlagern. Daher wurde eine Entnahme und Messung der NH_3 -Emissionen einzelner Spaltenbodenelemente in gasdichten Messkammern unter gleichartigen Bedingungen vorgesehen. Damit konnte der Funktionsbereich Lauffläche bezogen auf die Ammoniakemissionen getrennt vom Gesamtsystem Stall betrachtet werden.

Zur Messung wurden einzelne Elemente entnommen (gegen Wechselelemente ausgetauscht) und in eigens entwickelten gasdichten Messkammern (Prinzip der „closed chamber“) in einen Messcontainer gebracht. Die Bestimmung erfolgt somit unabhängig von der inhomogenen Luftzirkulation im offenen Stallsystem, Tieraktivität, Emission aus dem Güllekanal usw.

Als Messmethode für unsere Untersuchung wurde ein nass-chemisches Verfahren gemäß VDI 2461 und 3496 verwendet. Bei dem in VDI 2461 beschriebenen Indophenol-Verfahren wird die zu untersuchende Luft durch verdünnte Schwefelsäure geleitet und Ammoniak als Ammoniumsulfat gebunden. Dieses wird in alkalischer Lösung mit Phenol und Natriumhypochlorid unter Katalyse von Dinatrium-pentacyanonitrferat zu einem blauen Indophenolfarbstoff umgesetzt, dessen Konzentration photometrisch bei 632 nm ermittelt werden kann. Der Volumenstrom der zu untersuchenden Luft wird mit Hilfe von Gaszählern volumetrisch bestimmt. Die Luft aus den Messkammern wird mittels Membranpumpen durch die Waschflaschen gesaugt.

Versuchsstall

Für die Versuche wurde ein ökologisch bewirtschafteter Milchviehbetrieb (Bioland) in der Nähe von Trenthorst ausgewählt. In dem frei gelüfteten Stall in Labenz waren 86 Kühe der Rasse Deutsche Holstein auf Spaltenböden und in Hochboxen mit Stroh-Einstreu untergebracht. Jeweils von Ende April bis Anfang Oktober 2009 und 2010 befanden sich die Tiere tagsüber auf den an den Stall angrenzenden Weiden.

Aus den vorhandenen Spaltenbodenelementen wurden Teilstücke herausgeschnitten (s. *Abbildung 2*, Beprobungspunkte). Die Teilstücke und die Beprobungselemente wurden danach auf einem Stahlträger aufgelegt. Der Stahlträger wurde vorher so im Stall eingebaut, dass die aufgelegten Spaltenele-

mente auf gleicher Höhe mit den übrigen Spaltenbodenelementen waren. Die Beprobungselemente wurden in den Messkammern über 24 h auf ihre Ammoniakemissionen hin gemessen. Während dieser Zeit wurden Wechselelemente in den Boden eingelegt, die dann ihrerseits wieder gemessen werden konnte.

Der Versuchscontainer (6,0 m x 2,4 m x 2,6 m) zur Aufnahme der 4 Messkammern unter kontrollierten Bedingungen wurde unmittelbar neben dem Stall installiert.

Eine Klimaanlage sorgte für eine Temperatur von 20 ± 2 °C in den Messkammern während der Messungen. In den Messkammern selbst wurde während des Messvorgangs die Temperatur und rel. Luftfeuchte ständig überwacht, ebenso wie im Messcontainer selbst. Zu Erfassung des Außenklimas befand sich eine Wetterstation auf dem Container.

Das Stallklima (Temperatur und rel. Luftfeuchte) wurde mittels Datenloggern im Stall an zwei Punkten erfasst. Zur Überwachung der Tierpräsenz wurden im Stall Videokameras installiert und mit Hilfe von Langzeitvideorekordern das Tierverhalten dokumentiert.

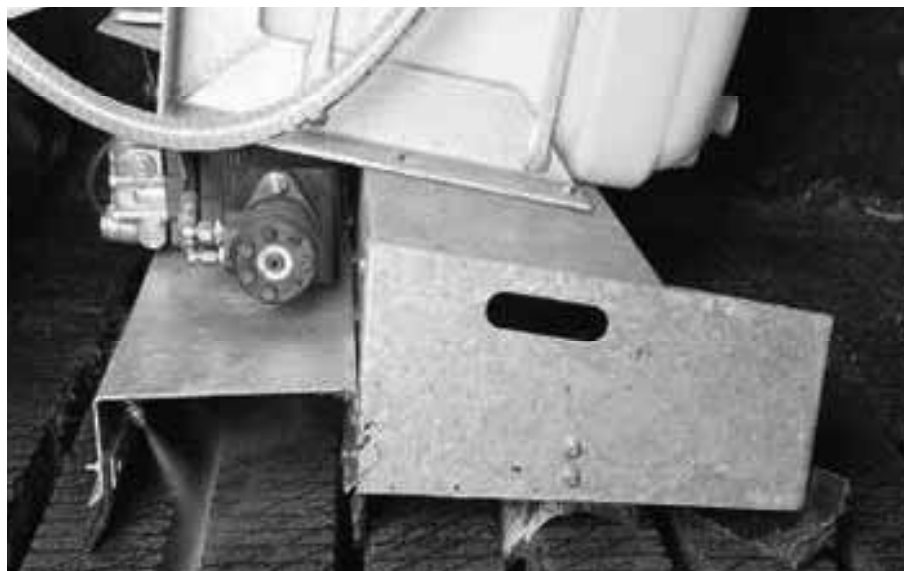


Abbildung 1: Wirkungweise des Spaltenreinigungssystems bestehend aus den drei Elementen Hochdruckreinigungsdüsen, Räumstern (Zwischenspalt) und Gummischieber.

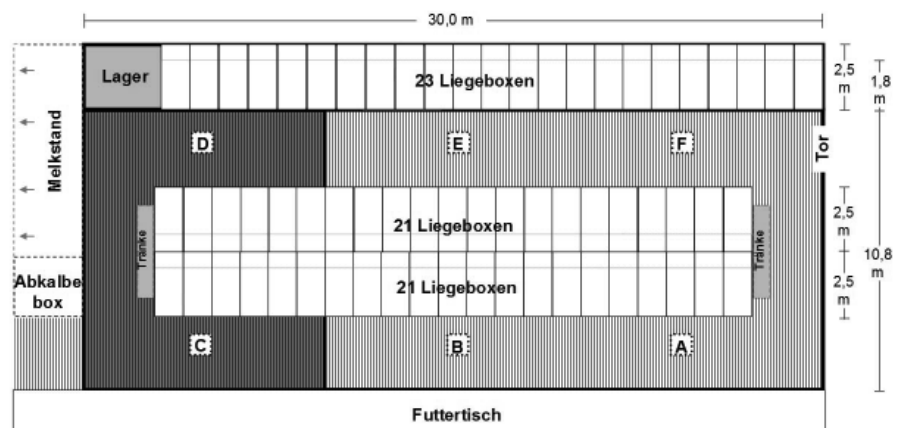


Abbildung 2: Stallgrundriss des Versuchsstalls mit Beprobungspunkten (A-F). Die dunkel schraffierte Fläche stellt die nicht gereinigte Kontrollfläche dar.

Die Entnahme der Spaltenbodenelemente zur Ammoniakbestimmung erfolgte zu verschiedenen Zeitpunkten direkt nach der Reinigung: 0 h, 2 h, 4 h und 6 h. Diese Zeitabstände wurden gewählt, um die Dauer der Ammoniak reduzierenden Wirkung des Reinigungssystems besser einschätzen zu können. Die Ammoniakmessungen wurden über zwei Versuchsjahre (2009 und 2010) hin durchgeführt. Vor der Reinigung und bei der Entnahme der Spaltenelemente nach der Reinigung wurden die Betonelemente gewogen und dadurch die anhaftende Kotmenge bestimmt, die als mechanische Reinigungsleistung betrachtet wurde.

Im ersten Versuchsjahr 2009 wurde in jeweils einer der vier luftdichten PE-Messkammern eine Blindmessung durchgeführt, um zu überprüfen, ob das Material zusätzlich Ammoniak emittiert.

Die gemessenen Werte von ca. $0,01 \text{ mg NH}_3 \text{ h}^{-1}$ lagen aber unterhalb der Nachweisgrenze des Verfahrens und konnten daher vernachlässigt werden. Darüber hinaus wies jede Kammer am Lufteingang eine Gaswaschflasche auf, um als „Falle“ den Ammoniak aus der Umgebungsluft im Messcontainer abzufangen. Dies führte jedoch zu hohen relativen Luftfeuchten von bis zu 100 % in den Messkammern und wurde im darauf folgenden Versuchsjahr 2010 nicht wiederholt.

In der zweiten Versuchsphase in 2010 wurde auf die Blindprobe verzichtet, um vier Messkammern für die eigentlichen Emissionsmessungen zur Verfügung zu haben. Da die Eingangsflasche am Lufteingang der Messkammer nicht mehr eingesetzt wurde, wurde mit einer einzelnen Gaswaschflasche die Ammoniakkonzentration in der Umgebungsluft innerhalb des Versuchscontainers gemessen und später von den Messwerten aus den Messkammern subtrahiert. Die relative Luftfeuchte in den Messkammern konnte durch das direkte Ansaugen der Umgebungsluft auf ca. 80 % reduziert werden.

Ergebnisse

Die untersuchten Spaltenbodenelemente wiesen hinsichtlich der Ammoniakemissionen eine Art „Hintergrundwert“ auf (Tabelle 1), da aufgrund des Alters (15 Jahre) eine absolute Reinigung des porösen Betons nicht möglich ist.

Die Ammoniakemissionen während der Weidesaison lagen zwischen $3,8 \text{ mg NH}_3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-2}$ (gereinigt, vier Stunden nach der Reinigung) und $7,5 \text{ mg NH}_3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-2}$ (gereinigt, zwei Stunden nach der Reinigung), wobei die Kontrollmessungen zwischen $6,0 \text{ mg NH}_3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-2}$ (direkt nach der Reinigung) und $7,0 \text{ mg NH}_3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-2}$ (sechs Stunden nach der Reinigung) ergaben. Ein statistisch signifikanter Unterschied ($p \leq 0,05$) zwischen den gereinigten Flächen und den Kontrollspalten ergab sich jedoch erst nach 4 Stunden.

Tabelle 2 gibt die Relation der Ammoniakemissionen zwischen gereinigten und nicht gereinigten Spaltenbodenelementen in Prozent an. Der positive Reinigungseffekt von -43,8 % bzw. -32,7 % tritt erst nach vier bzw. nach sechs Stunden.

Die neben der Wirkung auf die Ammoniakemissionen erfassten Parameter, wie mechanische Reinigungsleistung,

Tabelle 1: Ammoniakemissionen der Beprobungsspalten

Zustand	Ammoniak $\text{mg NH}_3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-2}$	Stabw
nass	1,58	$\pm 0,17$
trocken	0,38	$\pm 0,13$

Tabelle 2: Ammoniakreduzierung in Abhängigkeit des saisonalen Effekts und zeitlichen Abstands nach der Reinigung des Spaltenbodens

Saison	Zeitpunkt der Messung nach der Reinigung	Reinigungswirkung auf NH_3 -Emissionen (%)
Weidegang	0 Std.	+ 6,1
	2 Std.	+ 9,7
	4 Std.	- 43,8
	6 Std.	- 32,7
ganztägige Stallhaltung	0 Std.	-1,8
	2 Std.	- 29,6
	4 Std.	-42,5
	6 Std.	+ 0,6

Kotkonsistenz, Wirkung der Einzelkomponenten auf dem Prüfstand usw. vervollständigen die Bewertung des Reinigungssystems und fließen in das Fazit mit ein.

Fazit

Eine reduzierende Wirkung des dargestellten Reinigungsverfahrens auf die Ammoniakemissionen konnte nachgewiesen werden. Allerdings setzt diese Wirkung erst zeitversetzt ein. Trotz der Vereinfachung der Messmethodik durch die ausschließliche Betrachtung des Spaltenbodens bleibt aufgrund der dreidimensionalen Oberfläche (Spaltenzwischenraum) eine gewisse Komplexität der Faktoren vorhanden. Der saisonale Effekt der Ammoniakreduzierung ist beispielsweise nicht nur auf den Weidegang zurückzuführen, sondern auch auf die veränderte Kotkonsistenz und die damit verbundene höhere Kotdurchgang durch den Spaltenboden.

Literatur

- SWIERSTRA, D., SMITS, M. C. J., und KROODSMA, W., 1995: Ammonia Emission from Cubicle Houses for Cattle with Slatted and Solid Floors. *Journal of Agricultural Engineering Research* 62(2), 127-132.
- STATISTISCHES BUNDESAMT (2011): Wer produziert unsere Nahrungsmittel? Aktuelle Ergebnisse der Landwirtschaftszählung 2010. Begleitmaterial zur Pressekonferenz am 27. Januar 2011 in Berlin. Herausgeber: Statistisches Bundesamt, Wiesbaden.
- VOORBURG, J. H. Und KROODSMA, W., 1992: Volatile emissions of housing systems for cattle. *Livestock Production Science* 31(1-2), 57-70.
- ZÄHNER, M., KECK, M., & HILTY, R., 2005: Ammoniak-Emissionen von Rindviehställen. Minderung beim Bau und Management. *FAT-Berichte* 641. 2005. agroscope FAT Tänikon.