

IBK Arbeitsgruppe Landwirtschaft und Umweltschutz

Reduktion von Ammoniakemissionen in der Landwirtschaft

Güllebehandlung und Güllezusätze

Empfehlungen für die Landwirtschaft



Kempten, den 1. September 2009

IBK | grenzenlos | kreativ | vernetzt

Vorsitzender: Dr. Michael Honisch | Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Kempten
Adenauerring 97 | DE-87439 Kempten | Telefon: +49 831 52147 207 | Telefax: +49 831 52147 444 | E-Mail: michael.honisch@aelf-ke.bayern.de

Geschäftsstelle der IBK | Benediktinerplatz 1 | DE-78467 Konstanz | Telefon: +49 7531 52 722 | Telefax: +49 7531 52 869
Email: info@bodenseekonferenz.org | Internet: www.bodenseekonferenz.org

| Mitglieder | Institution, Ort / Land / Staat |
|------------------------------|---|
| Bouquet, François | Amt für Landschaft und Natur, Zürich/ Zürich / CH |
| Dr. Gabele, Hermann | Landratsamt Landwirtschaft, Ravensburg / Baden-Württemberg / D |
| Harder, Markus | Landwirtschaftsamt, Frauenfeld / Thurgau / CH |
| Heine, Walter | Vorarlberger Landesregierung, Abt. Landwirtschaft, Bregenz / VA/ A |
| Dr. Honisch, Michael | Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Kempten / Bayern / D |
| Dr. Keck, Margret | Forschungsanstalt Agroscope, Tänikon // CH |
| Kohl, Raimund | Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz / Baden-Württemberg / D |
| Mark, Fredy | Amt für Umweltschutz, Appenzell / Appenzell Innerrhoden / CH |
| Dr. Nesor, Stefan | Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising // D |
| Scherer, Josef | Institut für Umwelt & Lebensmittelsicherheit, Bregenz / Vorarlberg / A |
| Trefny, Fredy | Amt für Umwelt und Energie (AFU), St. Gallen / St. Gallen / CH |
| Dr. Zürcher, Fritz | Amt für Umwelt, Herisau /Appenzell Ausserrhoden / CH |
| | |
| Projekt-Unterstützung | |
| Gehrig Sonja | Büro INFRAS / CH INFRAS AG, Binzstrasse 23, Postfach, 8045 Zürich |

Inhalt

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 1. | EINFÜHRUNG | 4 |
| 1.1. | PROBLEMSTELLUNG | 4 |
| 1.2. | FAKTOREN DER AMMONIAKABGASUNG WÄHREND DER GÜLLELAGERUNG | 4 |
| 1.3. | EINTEILUNG DER BEHANDLUNGSVERFAHREN | 5 |
| 2. | BESCHREIBUNG UND WIRKUNG VON METHODEN DER GÜLLEBEHANDLUNG | 7 |
| 2.1. | PHYSIKALISCH WIRKSAME BEHANDLUNGSVERFAHREN, WELCHE DIE I NFILTRATIONSFÄHIGKEIT VON GÜLLE VERBESSERN | 7 |
| 2.1.1. | Biogasvergärung | 7 |
| 2.1.2. | Gülleverdünnung mit Wasser | 8 |
| 2.1.3. | Rühren und Belüften | 11 |
| 2.1.4. | Separierung | 12 |
| 2.2. | GÜLLEZUSÄTZE, WELCHE DIE AMMONIAKFREISETZUNG HEMMEN (GRUPPE A) | 12 |
| 2.2.1. | Säurezugabe | 12 |
| 2.2.2. | Zugabe von Urease-Inhibitoren | 13 |
| 2.3. | GÜLLEZUSÄTZE, WELCHE DIE MIKROBIELLE UMSETZUNGEN DER GÜLLE FÖRDERN ODER STEUERN (GRUPPE B) | 13 |
| 2.3.1. | Zugabe organischer Stoffe | 13 |
| 2.3.2. | Gesteinsmehle, Tonminerale, Algenkalk, Zeolith | 14 |
| 2.3.3. | Bakterienpräparate | 16 |
| 2.4. | BEEINFLUSSUNG MIKROBIELLER UMSETZUNGEN DURCH „FEINSTOFFLICHE INFORMATIONEN“ (GRUPPE C) | 17 |
| 3. | EMPFEHLUNGEN FÜR DIE PRAXIS | 18 |
| 4. | FORSCHUNGSBEDARF | 19 |
| 5. | ANHANG | 20 |
| 5.1. | BEHANDLUNGSVERFAHREN, WELCHE DIE FLIEßFÄHIGKEIT BEEINFLUSSEN, OHNE GÜLLEZUSÄTZE | 20 |
| 5.2. | GÜLLEZUSÄTZE GRUPPE A: HEMMUNG MIKROBIELLER UMSETZUNGEN | 22 |
| 5.3. | GÜLLEZUSÄTZE GRUPPE B: FÖRDERUNG ODER STEUERUNG MIKROBIELLER UMSETZUNGEN | 23 |
| 5.4. | GÜLLEZUSÄTZE GRUPPE C: BEEINFLUSSUNG MIKROBIELLER UMSETZUNGEN DURCH „FEINSTOFFLICHE INFORMATIONEN“ | 25 |
| 6. | LITERATUR | 27 |

1. Einführung

1.1. Problemstellung

Vor dem Hintergrund knapper werdender volkswirtschaftlicher Ressourcen, betriebswirtschaftlicher Sparzwänge und aus Gründen des Umweltschutzes gewinnt die verlustarme Ausnutzung von wertvollen Hofdüngerbestandteilen, insbesondere bei der Gülle, eine steigende Bedeutung. Im Fokus der Betrachtungen stehen vor allem gasförmige Verluste durch Ammoniak (NH_3). Etwa 90 % der Ammoniak-Emissionen entstammen der Tierhaltung (Döhler et al. 2002). Je nach Tierart, Fütterung, Stallsystem sowie Art der Hofdüngerlagerung und -Ausbringung geht rund ein Drittel bis zur Hälfte des Stickstoffs aus tierischen Ausscheidungen als Ammoniak an die Umgebungsluft verloren (Zürcher 2004).

Die momentanen und zukünftig zu erwartenden Entwicklungen der internationalen und nationalen Rahmenbedingungen zur Minderung von klima- und umweltrelevanten Quellen in der Landwirtschaft zeigen sehr deutlich auf, dass ein essentieller Bedarf und hohes öffentliches Interesse an effizienten, finanziell tragbaren und praxistauglichen Maßnahmen zur Reduzierung von Ammoniakemissionen aus Nutztierställen besteht (Leinker 2007).

Die Möglichkeiten zur Verlustreduktion sind vielfältig. Sie reichen von Maßnahmen im Bereich der Fütterung und des Stallbaus bis hin zur Ausbringungstechnik¹. Auch bei Lagerung und vor der Ausbringung von Gülle steht dem Landwirt eine Reihe von Behandlungsverfahren zur Vermeidung von Ammoniakemissionen zur Verfügung. Hierzu zählt auch die Anwendung Zusätzen, welche direkt in das Güllelager oder über die Fütterung zugegeben werden.

Aufgabe dieses Berichts ist, den Stand der Forschung² für die Landwirtschaft im IBK-Raum zusammen zu fassen (Kapitel 2) und eine abschließende Orientierungshilfe für Landwirte zu geben (siehe Kapitel 3 „Empfehlungen für die Praxis“). Darüber hinaus gehende Fragen zum Bau von Ställen und Abdeckung von Güllegruben, Haltungsformen, Fütterung und Ausbringungstechnik, welche ebenfalls NH_3 -Emissionen beeinflussen, werden gesondert behandelt und sind nicht Gegenstand dieser Ausführungen.

1.2. Faktoren der Ammoniakabgasung während der Güllelagerung

Gülle ist ein Gemisch aus Kot und Harn. Der nach Abbau von organischen Eiweiß- bzw. Amidverbindungen über den Urin ausgeschiedene Harnstoff $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ wird sofort nach der Ausscheidung im Stall durch das vorhandene Enzym "Urease" zu Ammoniak und Kohlendioxid gespalten anschließend bei der Güllelagerung in Verbindung mit Wasser zu Ammoniumcarbonat $(\text{NH}_4)_2 \text{CO}_3$ und in weiterer Folge zu Ammoniumhydrogencarbonat $(\text{NH}_4\text{OH} + \text{H}_2\text{CO}_3)$ umgebaut. Dieses zerfällt in Abhängigkeit von pH-Wert und Temperatur wiederum leicht zu Ammoniak, Kohlendioxid und Wasser, wobei Ammoniak und Kohlendioxid rasch zur Verflüchtigung neigen (Abbildung 1).

Alle Maßnahmen während der Güllelagerung beeinflussen das dynamische Gleichgewicht der verschiedenen Stickstoffverbindungen, die sich auf die gelöste und auf die gebundene Phase verteilen.

Ammoniak reagiert in wässriger Lösung nach folgender Gleichung: $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{NH}_4^+ \text{OH}^-$. Dieses Gleichgewicht ist von den Abgasungsbedingungen und damit von der Temperatur und vom pH-Wert abhängig. Rindergülle hat normalerweise einen pH-Wert von 7,5, daher liegt der anorganische Stick-

¹ vgl hierzu „Emissionsmindernde Gülleausbringung“ IBK Positionspapier z Hd. der Regierungen, Oktober 2008

² Vorliegende Literatursammlung wurde nach aufwändiger Recherche und nach bestem Wissen erstellt, sie erhebt jedoch keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

stoffanteil in der Gülle hauptsächlich gebunden als Ammoniumstickstoff (Ammoniumcarbonat). Belüftete Gülle sowie Biogasgülle haben hingegen einen pH von 8 bis über 9. Hierbei (und mit zunehmender Temperatur) steigt die Umwandlung von NH_4 zu NH_3 und damit auch die Abgasungstendenz überproportional an. Mit steigendem pH-Wert nimmt die Gefahr der Umwandlung vom Ammonium zum gasförmigen Ammoniak zu.

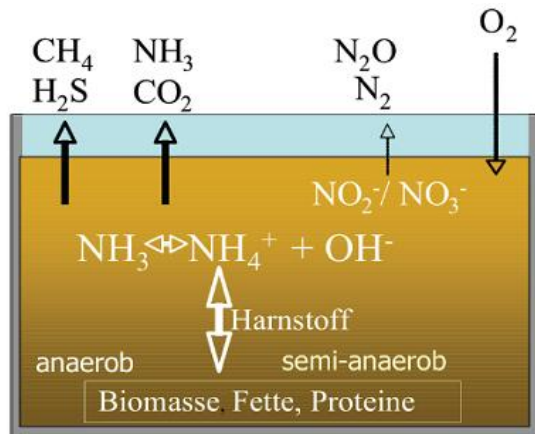


Abbildung 1: Schematische Darstellung ausgewählter Prozesswege bei der Güllelagerung (Zürcher 2009)

Die NH_3 -Verluste während der Lagerung sind somit von verschiedenen Faktoren abhängig, die nicht immer leicht zu kontrollieren sind z.B.: Harnstoffgehalt, Wärme, Luftwechsel und Anteil an organischer Substanz der Gülle (TS-Gehalt). Zudem bestehen Wechselwirkungen mit dem Säure-Base-Gleichgewicht (pH-Wert) und dem Redox-Milieu. Ebenso spielen Luftaustausch (Durchmischung)

und Lagerungsdauer eine Rolle. Durch diese Faktoren werden auch die Emissionen anderer klimarelevanter Schadgase beeinflusst (Amon et al. 2005).

und Lagerungsdauer eine Rolle. Durch diese Faktoren werden auch die Emissionen anderer klimarelevanter Schadgase beeinflusst (Amon et al. 2005).

1.3. Einteilung der Behandlungsverfahren

Im Folgenden wird zwischen physikalisch wirksamen Behandlungsverfahren und chemisch/biologisch wirksamen Maßnahmen unter Verwendung von Güllezusätzen unterschieden. Diese Einteilung erfolgt in Anlehnung an eine Studie der Vereinten Nationen (UN-ECE/EB, 2007).

Zu den **physikalisch wirksamen** Behandlungsverfahren gehören vor allem solche, welche die Infiltrationsfähigkeit der Gülle bei der Ausbringung verbessern. Hierzu zählen Wasserzusatz, Feststoffseparation und Biogasvergärung. Gemäß UN-ECE-Leitfaden handelt es sich hierbei um „erfolgsversprechende [emissionsmindernde] Techniken [der Kategorie 2], die jedoch bislang nicht ausreichend erforscht wurden oder für die es immer schwierig sein wird, die emissionsmindernde Wirkung zu quantifizieren. Das bedeutet aber nicht, dass sie je nach lokalen Gegebenheiten nicht als Teil einer Strategie zur Ammoniakminderung eingesetzt werden können“.

Zu den **chemisch/biologisch wirksamen** Maßnahmen zählt die Verwendung von Güllezusätzen (Gülleadditive). Dies sind u.a. Säuren, Mikroorganismen und Gesteinsmehle. Mit ihrer Anwendung werden oft auch weitergehende Ziele verfolgt:

- › Verminderung der Geruchsbelastung
- › Bessere Homogenisierung der Gülle und Auflösung von Sink- oder Deckschichten
- › Verbesserung der Fliess- und damit der Infiltrationsfähigkeit im Bestand
- › Verbesserung der Nährstoffausnutzung durch bakterielle N-Bindung
- › Verminderung von Ätزشäden
- › Verbesserung des Pflanzenbestandes
- › Förderung des Bodenlebens.

Im deutschsprachigen Raum sind 50-60 unterschiedliche Güllezusatzmittel auf dem Markt³, welche die Güllewirkung verbessern und sonstige Probleme wie Fliessfähigkeit, Bildung von Schwimmdecken

³ <http://gruenland-online.de>

und die Geruchsentwicklung günstig beeinflussen sollen. Je nach Wirkungsweise können sie in drei Gruppen eingeteilt werden (Tabelle 1). Güllezusätze können im Stall nach Vorschrift der Hersteller oder in die Güllegrube eingebracht werden. Ihr Einsatz ist verfahrenstechnisch also mit geringem Aufwand verbunden. Sie erfreuen sich daher allgemein einer gewissen Beliebtheit. Insbesondere wenn andere Düngemittel nicht erlaubt sind (Extensivierungsbetriebe), werden oftmals hohe Erwartungen in sie gesetzt, wofür die Kosten zu zahlen viele Landwirte bereit sind.

Tabelle 1: Einteilung von Güllezusätzen nach ihrer Wirksamkeit [Quelle: <http://www.gruenland-online.de>]

| | |
|-----------------|---|
| Gruppe A | Güllezusätze, die durch die Hemmung mikrobieller Umsetzungen in der Gülle wirken. In der Regel sind das chemisch-synthetische Verbindungen wie Cyanamid, Metallsalze oder mineralische oder organische Säuren. |
| Gruppe B | Güllezusätze, die mikrobielle Umsetzungen der Gülle fördern oder steuern : 1) Gesteinsmehle (Vulkangestein, Kalkstein, Quarz) 2) Tonminerale (Bentonite) 3) Algen (Frisch- und Trockenalgenextrakte, Algenkalk) 4) Komposte, Kompostpräparate 5) Pflanzenextrakte und -wirkstoffe (Saft der Yuccapalme, Enzyme) 6) Mikrobenkulturen (Blaualgen, Bazillus laterosporus) 7) Mikrobennahrung (leicht abbaubare Kohlenwasserstoffe, Öle, Fette, Zucker) |
| Gruppe C | Güllezusätze, die über „feinstoffliche Informationen“ mikrobielle Umsetzungen in der Gülle beeinflussen: › Gebündelte Energie auf einem Trägerstoff (z.B. die Information Sauerstoff mittels kosmischer Energie auf Quarzmehl, Kreidemehl bzw. jedem nicht synthetischen Trägerstoff) › Dynamisierung und Potenzierung von Mikro- und Makronährstoffen und sonstigen Wirkstoffen (ähnlich der Homöopathie, Trägerstoff in der Regel Wasser) |

Weil die meisten Gülleadditive auf dem Markt noch nicht unabhängig getestet wurden oder die Ergebnisse nicht genügend aussagekräftig oder reproduzierbar waren, wurden diese Verfahren im UNECE Leitfaden (2007) zu den Techniken, gezählt, „die sich als unwirksam erwiesen haben oder aus praktischen Gründen vermutlich ausgeschlossen werden“ [Kategorie 3].

Eine klare Beurteilung dieser vielfältigen Behandlungsverfahren ist oft nicht einfach und für den Landwirt selbst in der Regel unmöglich. Angaben in der Literatur sind, sofern vorhanden, nicht immer eindeutig. Denn die in der Gülle ablaufenden Vorgänge, welche die Verteilung der Stickstoffverbindungen steuern, sind komplexer chemisch-biologischer Natur und auch hinsichtlich ihrer Wechselwirkungen mit anderen, physikalisch wirksamen Behandlungsverfahren wissenschaftlich wenig verstanden.

2. Beschreibung und Wirkung von Methoden der Güllebehandlung

2.1. Physikalisch wirksame Behandlungsverfahren, welche die Infiltrationsfähigkeit von Gülle verbessern

Als dickflüssiges Medium ist insbesondere die Gülle von Rindern in ihrer Anwendung nicht unproblematisch. So kommt es bei der Lagerung von Gülle zu einer Entmischung von festen und flüssigen Bestandteilen. Nach der Ausbringung verzögert die mehr oder weniger zähflüssige Konsistenz der Gülle ein rasches Abfließen von den Pflanzen und die rasche Infiltration in den Boden. Am Blatt anhaftende Güllereste führen zu „Verbrennungen“ und erhöhen die Emissionen (Abbildung 2). Zudem ist Gülle eine thixotrope Flüssigkeit, d.h., bei starker Scherung, wie z.B. bei Versprühen unter Druck, sinkt die Viskosität, während sie bei Abnahme der Scherkräfte wieder ansteigt (Schröpel 2002).



Abbildung 2: Rindergülle mit 5% TS (Verdünnung 1:1) im Sommer bei Breitverteilung auf Wiese ausgebracht, führt bereits zu signifikanten Verätzungen und anhaftende Reste zu Futtermittelverschmutzung, wenn nachfolgende Niederschläge ausbleiben. Aufnahme vom Grünlandtag Spitalhof in Kempton, Begüllung am 15.7.09 (Möscha-Schwenkverteiler).

Für die Senkung der Emissionen nach der Ausbringung ist eine möglichst geringe Viskosität, d.h. eine gute Fließfähigkeit des Mediums, anzustreben.

2.1.1. Biogasvergärung

Die anaerobe Behandlung von Gülle gewinnt zunehmend an Bedeutung und dient primär dem Ziel der Energiegewinnung. Unter Luftabschluss werden die leicht abbaubaren Bestandteile der organischen Substanz durch ubiquitäre, methanbildende Bakterien vergoren. In der Regel geschieht dies unter Beimischung weiterer leicht vergärbare Substanzen (z.B. Mais, Getreide, Silagen, Abfälle etc), wodurch sich qualitative und quantitative Veränderungen des „Gärrests“ ergeben. Im Verlauf des anaeroben Gärprozesses wird organische Trockenmasse abgebaut, folglich liegt der Trockenmassegehalt des vergärten Materials deutlich unter dem des Ausgangsmaterials. Dadurch kommt es insbesondere bei zähflüssiger Rindergülle, welche einen hohen TS-Gehalt aufweist, zu einer Verbesserung der Vis-

kosität (Kempkens 1998). In der Praxis werden aufgrund der Feststoffzugabe jedoch häufig TS-Gehalte von 6 % und mehr gemessen.

Der Nährstoffgehalt der Gärreste (Tabelle 2) ist von der Zusammensetzung der Eingangssubstrate, deren Nährstoffgehalte und den Gärbedingungen abhängig (LfL 2008). Von besonderer Bedeutung ist der durch den Abbau organischer Substanz steigende pflanzenverfügbare Stickstoff, der sich in einem höheren Ammoniumanteil am Gesamtstickstoff zeigt. Während dieser sofort wirksame Stickstoff z. B. in Rindergülle einen Anteil von 40 bis 50 % des Gesamtstickstoffes einnimmt, werden in Gärresten in Abhängigkeit von den Einsatzstoffen und des Gärprozesses Werte von 50 bis 80 % erreicht.

Eine umfassende Übersicht über Ammoniakemissionen aus Gülle bei der Vergärung geben Hersener et al. (2002). Nach ihrer Auffassung führt die Vergärung von Rohgülle zu keinen Ammoniakverlustminderungen gegenüber unbehandelter Gülle. Denn das Gefährdungspotential ist aufgrund des erhöhten pH und des erhöhten Ammoniumanteils nach der Vergärung höher.

Tabelle 2: Analyse von Gärsubstraten (Praxisbetriebe), Anhaltswerte nach LfL 2008)

| | TS (in %) | N ges. (kg/m ³) | NH ₄ (kg/m ³) | P ₂ O ₅ (kg/m ³) | K ₂ O (kg/m ³) |
|-------------|-----------|-----------------------------|--------------------------------------|--|---------------------------------------|
| Min. | 2,9 | 2,4 | 1,5 | 0,9 | 2,0 |
| Max. | 13,2 | 9,1 | 6,8 | 6,0 | 10,6 |
| Ø | 6,7 | 5,4 | 3,5 | 2,5 | 5,4 |

Im Vergleich Durchschnittswerte für Rindergülle im Grünlandbetrieb:

| | | | | | |
|----------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Ø | 6,0 | 3,2 | 1,5 | 1,0 | 4,8 |
|----------|-----|-----|-----|-----|-----|

Insbesondere wegen des erhöhten Anteils an flüchtigem Ammonium-N konnte für Biogasgülle wiederholt ein hohes Emissionsrisiko während der Endlagerung (bei offenen Behältern) und vor allem nach der Ausbringung nachgewiesen werden. Mannheim (1996, zit. In Hersener et al. 2002) maß die Ammoniakemissionen nach Ausbringung von vergorener Rindergülle im Vergleich zu unbehandelter Rindergülle und stellte fest, dass bei gleich hoher Stickstoffmenge (1,4 kg NH₄⁺/m³) bei der Biogasgülle 72 % und bei der unbehandelten Gülle 59 % der ausgebrachten Ammoniumstickstoffmenge als Ammoniak emittiert wurden, obwohl der TS-Gehalt durch die Vergärung von 5,25 % auf 4,7 % reduziert wurde.

Insgesamt kann Biogas-Gülle der Pflanze also mehr Ammoniumstickstoff pro GVE als unvergorene Gülle liefern, vorausgesetzt, sie wird verlustarm gelagert und ausgebracht. Die Endlagerung sollte daher in geschlossenen Behältern erfolgen. Die Ausbringung vergorener Gülle sollte auf jeden Fall mittels emissionsmindernden Verfahren z.B. mittels Güllegrubber oder Schlitzdrillverfahren erfolgen. Nur dann ist die vergorene Gülle ein halbwegs kalkulierbarer und effizienter Stickstoffdünger.

2.1.2. Gülleverdünnung mit Wasser

Die Verdünnung der Gülle mit Wasser ist die gängigste aller Güllebehandlungen im Bodenseeraum und darüber hinaus. Besondere Bedeutung hat sie im Grünland, wenn keine nachfolgende Einarbeitung möglich ist.

Durch die Verdünnung mit Wasser wird weniger Ammoniak freigesetzt, denn dies beeinflusst das Gleichgewicht der gelösten N-Verbindungen in der Gülle. Ammoniak aus der Harnstoffhydrolyse ist in Wasser sehr leicht löslich, bei 20 °C lösen sich 702 Liter Ammoniak in einem Liter Wasser.

Zudem wird bei Verdünnung die Viskosität erhöht und damit der N-Anteil, der leichter in den Boden infiltriert. Dort wird Ammonium am Austauschkomplex gebunden und wird pflanzenbaulich nutzbar. (Schröpel 2004).

Somit ergibt sich eine Reihe von pflanzenbaulichen Vorteilen:

- › bessere Fließ- und Rührfähigkeit – weniger Rühraufwand – weniger Abgasung
- › schnelleres Abtropfen vom Bestand - geringere Futterschmutzung – bessere Futterqualität
- › geringerer osmotische Wirkung - bessere Pflanzenverträglichkeit – weniger Verätzungen
- › weniger NH₃-Abgasung - geringere Geruchsbelästigung – bessere N-Effizienz – höherer Ertrag

Besonders im Sommer wird bereits heute von einer Vielzahl von Landwirten im Bodenseeraum die Gülle mit Wasser verdünnt. Gerade bei hohen Temperaturen können hierdurch die NH₃- Verluste deutlich reduziert werden

Tabelle 3). Auch die Methanemissionen sind geringer bei Verdünnung (Schürer 2000).

Tabelle 3 Einfluss der Wasserverdünnung auf die Ammoniakverluste während drei Tagen nach Anwendung von Rindvieh-Vollgülle (Frick und Menzi 1997)

| Verdünnung ¹⁾ | TS-Gehalt % | NH ₄ -N-Gehalt kg N pro m ³ | NH ₃ -Verlust in % des appl. NH ₄ -N | Verlustreduktion in % ²⁾ |
|--------------------------|-------------|---|--|-------------------------------------|
| 1:0 | 7,1 | 3,9 | 95 | - |
| 1:0,5 | 4,8 | 2,6 | 74 | 22 |
| 1:1 | 3,6 | 2,0 | 57 | 40 |
| 1:2 | 2,4 | 1,3 | 42 | 56 |
| 1:3 | 1,8 | 1,0 | 29 | 69 |
| 1:4 | 1,4 | 0,8 | 22 | 77 |

¹⁾ Teile Gülle : Teile Wasser

²⁾ Gegenüber der unverdünnten Gülle

Gülle mit einem hohen Anteil an gelöstem Stickstoff z.B. Schweinegülle oder Gülle aus der Biogasgewinnung (Gärssubstrat), die in der Regel auch einen erhöhten pH-Wert aufweist, sollte daher immer (spätestens vor dem Ausbringen) ausreichend mit Wasser verdünnt werden. Auf Weiden ist eine Verdünnung ebenfalls zwingend notwendig, weil das Vieh mit Gülle behaftetes Futter ungerne frisst.

Ob eine Verdünnung der Gülle bereits im Laufe der Lagerung erfolgen sollte oder erst zum Zeitpunkt der Ausbringung wird kontrovers diskutiert. Zum einen erbringt die Verdünnung, über das durch Reinigungs- und Spülprozesse bedingte Maß hinaus, scheinbar keine nennenswerte Minderung der Lagerverluste (Zürcher 2009). Gülle ist eine polydisperse Suspension bei der sich die Sinkgeschwindigkeit exponentiell mit zunehmendem TS-Gehalt verringert (Balssen 1981, zit. in Hersener, 2002). Je mehr Wasser in die Lagergrube gelangt, umso schneller bilden sich eine Sinkschicht und eine Schwimmdecke aus. Der Rühraufwand nimmt zu. Damit könnte auch das Potential an Ammoniakemissionen an-

steigen. Nach Schürer (2000) erhöhen sich auch die Lachgasverluste. Zudem erhöhen sich die Kosten für die Lagerhaltung und vor allem der Zeitdruck, die Gülle auch zur Unzeit ausbringen zu müssen, um ein Überlaufen der Grube zu vermeiden.

Zum anderen ist kontinuierlich zulaufendes Wasser aus natürlichen Quellen (Regenwasserablauf) jedoch wesentlich günstiger und ressourcenschonender im Vergleich zu Trinkwasser. Hier sind Wirtschaftlichkeit und Umweltaspekte abzuwägen.

Obwohl oftmals als „billigstes“ Verfahren bezeichnet (<http://gruenland-online.de>), können die Kosten durch den eingesparten N-Verlust in der Regel wohl nicht vollständig gedeckt werden. Dies gilt zumindest dann, wenn lediglich der N-Gewinn, bewertet an Handelsdüngerpreisen zu Grunde gelegt wird. Wird jedoch die durch den zusätzlichen Stickstoff erzielte Ertragssteigerung in die Rechnung mit einbezogen, so können die Kosten der Verdünnung sehr wohl aufgefangen werden. Da die Wasserzugabe auch in der Praxis vor allem in den Sommermonaten erfolgt, wurden Mehrkosten für die Lagerhaltung in Tabelle 4 nicht angerechnet. Die weiteren oben genannten Vorteile sind nicht monetär quantifizierbar.

Tabelle 4: Kosten der Wasserverdünnung

Beispiel: Betrieb mit 27,5 ha, 28 Milchkühe 7200 kg Leistung, 28 Stk. Jungvieh. Bisher >7,5% TS in der Gülle. Vakuumentankwagen, 7m³ mit Breitverteiler. Ausbringungsleistung bei max. 3 km Feldentfernung ca. 20 m³/h .

| | bei 7,5 % TS | bei 5,0 % TS |
|--|--|---|
| Gülleanfall * pro Jahr | 1.100 m ³ / Jahr | 1.650 m ³ / Jahr |
| Ausbringung pro ha | 40 m ³ /ha | 60 m ³ /ha |
| Festkosten nach KTBL 2008/09, S. 76 | 1.535 € / Jahr | |
| Var. Kosten nach KTBL 2008/09, S. 76 = 0,4 € pro m ³ | 440 € / Jahr | 660 € / Jahr |
| Kosten der Ausbringung | 1.975 € / Jahr | 2.195 € / Jahr |
| Kosten der Ausbringung pro m ³ | 1,80 € /m ³ | 1,33 € /m ³ |
| Arbeitskosten pro Jahr bei 12 €/h | 1.100 m ³ /20 m ³ /h * 12 €/h = 660 €/Jahr | 1.650 m ³ / 20 m ³ /h * 12 €/h = 992 €/Jahr |
| Jährliche Gesamtkosten (Ausbringung und Arbeit) | 1.975 + 660 = 2.635 € | 2.195 + 992 = 3.187 € ➔ Mehraufwand: 552 € /Jahr |
| N-Gehalt * Wirkungsgrad * m ³ : N Gewinn je Hektar bei 5% TS: | 3,8 * 0,7 * 40 = 106,4 kg N/ha | 2,5 * 0,8 * 60 = 120 kg N/ha 120 – 106,4 = 13,6 kg N /ha |
| Bewertung des N-Gewinns mit 1,0 €/kg N | | 13,6 * 1,0 = 13,6 €/ha bei 27,5 ha = 374 € |
| Bewertung über Heuverkauf: möglicher Mehrertrag je kg N Mehrertrag bei 13,6 kg N /ha Mehrertrag auf 27,5 ha Erlös beim Preis von 10 €/dt Heu Gewinn / Verlust | --- | 25 kg Heu / kg N ** 13,6 kg N/ha * 25 = 3,4 dt Heu / ha 27,5 ha * 3,4 dt/ha * 10 €/dt = 935 € ➔ Erlös 935 € / Jahr ➔ 935 – 552 = 383 € / Jahr Gewinn |

* Gülleanfall, Gehalte in Gülle und Wirkungsgrade in Anlehnung an „Leitfaden für Düngung“ 8. Auflage 2007, LfL Bayern

** Spitalhofergebnisse, mdl. Mitteilung M. Diepolder (LfL)

Die relative Vorzüglichkeit dieses Verfahrens hängt folglich von den betrieblichen Verhältnissen ab. Kostenvorteile ergeben sich insbesondere bei geringen Hof-Feldentfernungen und hoher Schlagkraft bei der Ausbringung, insbesondere bei Gülleverschlauchung. Insgesamt gehört die Wasserdünnung zu den effizientesten Maßnahmen der Güllebehandlung, um Ammoniakverluste (vor allem im Sommer) nachweislich und mit vertretbarem Aufwand zu reduzieren. Mit dieser einfachen Maßnahme lassen sich zudem viele andere Ziele erreichen. Insbesondere für die Grünlandgebiete im Bodenseeraum wird die Verdünnung der Gülle daher empfohlen (siehe Kap. 3).

2.1.3. Rühren und Belüften

Mit dem Rühren und Belüften werden, je nach Intensität, unterschiedliche Ziele verfolgt:

1. Homogenisierung der Gülle vor dem Ausbringen
2. Umwälzung des Gärgutes zur Vermeidung stark reduzierender Zonen und Auflösung von Sink-schichten
3. Belüftung der Gülle zur Initiierung aerober Abbauprozesse.

Je nach gewünschtem Ziel ist ein unterschiedlich starkes und unterschiedlich häufiges Rühren erforderlich. Mit Blick auf die Ammoniakemissionen sind intensives Rühren und die Beseitigung von Schwimmschichten grundsätzlich contraproduktiv.

Der Luftabschluss unter solchen Schwimmschichten verhindert den Luftzutritt und es kommt zu anaeroben Abbauprozessen, wodurch neben Ammoniak auch Methan (und bei stärker reduzierenden Bedingungen auch Schwefelwasserstoff) entsteht. Die freigesetzten Gase müssen bereits während der Lagerung ungehindert austreten können und sind so abzuleiten, dass sie beim Austreten weder Tier noch Mensch belästigen (Explosionsgefahr). Werden Gärgase aus dem Stallbereich mechanisch abgezogen, so ist dafür zu sorgen, dass die Lüftererneuerung unmittelbar über dem Lagergut minimiert bleibt. (Bedarfsentlüftung oder Flächenabsaugung direkt über dem Spaltenboden). Eine permanente Zwangsentlüftung erzeugt hohe Ammoniakverluste und ist daher zu vermeiden. Erst bei größeren Anlagen (>1000 m³ Stapelvolumen) empfiehlt sich der Einbau von Biowäschern.

Spätestens zur Ausbringung ist eine Homogenisierung der Gülle und damit ein Umrühren erforderlich. In der Praxis geschieht dies im Winter eher selten, im Sommer jedoch - vor allem in Grünlandbetrieben - mitunter mehrmals pro Monat und oft für mehrere Stunden täglich. Hierdurch können die Emissionen erheblich ansteigen, und es kann bei innerörtlicher Lagerung zu Geruchsbelästigungen kommen. Gerade das Umpumpen und das Aufrühren zur Ausbringung führen kurzfristig zu deutlich höheren Geruchs-, Methan- und Ammoniakemissionen.

Um intensives Rühren zu vermeiden, kann nach Zürcher (2006) die vorzeitige Entmischung der Gülle durch regelmäßiges Mischen / Umwälzen und eine verringerte Wasserzugabe während der Lagerung verhindert werden. Dieses schonende Rühren begünstigt semi-anaerobe Prozesse durch einen leichten Sauerstoffnachschub, welcher die Entstehung stark reduzierender Bedingungen verhindert. Es werden gelöste Stickstoffverbindungen besser in Schwebstoffe (Biomasse) gebunden und die Geruchsstoffbildung wird unterdrückt (Somitsch et al. 2008). Um eine unerwünschte Ausgasung zu vermeiden, muss die Luftmenge dabei so dosiert werden, dass keine künstlichen Luftblasen durch das Lagergut aufsteigen. Dies zu steuern, ist in der Praxis jedoch problematisch. Untersuchungen an offenen Güllelagern haben gezeigt, dass sich die Langzeit-Emissionsraten bereits bei einer einmaligen wöchentlichen Durchmischung von 15 Minuten im Vergleich zu ungerührten Bedingungen verdoppeln (Sommer et al. 1993).

Intensive Güllebelüftung bringt eine Geruchsminderung, treibt aber Ammoniak in die Luft und erhöht die Energiekosten. Laut Empfehlungen des KTBL (1995) sind daher intensive Güllbewegungen in jedem Falle zu unterlassen. Wegen des aeroben Abbaus der organischen Säuren kann intensiv belüftete Gülle einen pH-Wert von über 8 aufweisen, was insbesondere bei sommerlichen Temperaturen zu

einer weiteren Zunahme der Ammoniakemissionen führt. Zudem kommt es bei Sauerstoffzufuhr zur Nitrifikation. Lässt der Rührvorgang nach, sinkt der Sauerstoffpartialdruck und dem Nitrat wird über mikrobiologische Atmungs Vorgänge der Sauerstoff entzogen. Bei dieser Denitrifikation wird als klimawirksames Gas N_2O (Lachgas) massiv freigesetzt. Ist Nitrat bei der Ausbringung noch in der Gülle vorhanden, kann es ausgewaschen werden. Von der Belüftung der Gülle ist daher abzuraten.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass durch eine schonende Umwälzung der Gülle sich u.U. Qualitäts- und Geruchsverbesserungen erzielen lassen, ohne zusätzliche Ammoniakverluste zu erzielen, sofern die Behälter gedeckelt sind. Ist keine feste Abdeckung vorhanden, werden durch das Fehlen der Schwimmdecke die Ammoniakemission und u.U. sogar die Denitrifikation gefördert. Um die emissionsmindernde Wirkung der Schwimmdecke bei Rindergülle nicht zu gefährden, ist das Homogenisieren vor allem in den Sommermonaten auf das Mindestmass zu beschränken. In der Praxis ist es ausreichend, wenn vor dem Ausbringen die Gülle nur leicht aufgerührt wird, so dass die Schwimmdecke erhalten bleibt. Das Wiederbefüllen soll unterhalb der Gülleoberfläche an der Sohle des Behälters erfolgen, ohne die Schwimmdecke zu beeinträchtigen.

2.1.4. Separierung

Bei der Gülleseparation werden die Feststoffe mechanisch über Siebe/Walzen/Schneckenzyylinder von den löslichen Komponenten getrennt. Grundsätzlich stellt die Abtrennung von Feststoffen aus Gülle ein praxistaugliches Verfahren für den mobilen oder stationären Einsatz dar. Es kann zur Emissionsminderung beitragen und bietet die Möglichkeit, die abgetrennten Feststoffe in Regionen mit Nährstoffbedarf oder als Einstreu weiter zu verwenden. Die Separierung kann für Grünlandbetriebe grundsätzlich empfohlen werden, da keine übermäßige Wasserverdünnung erforderlich ist. Vor allem bei höheren Temperaturen während der Ausbringung können merkliche Verlustminderungen erzielt werden (Hersener et al. 2002).

Auf dem Lehr-, Versuchs- und Fachzentrum für Milchviehhaltung und Grünland Spitalhof zeigte separierte Gülle im 3jährigen Feldversuch keine Vorteile hinsichtlich der Düngewirkung (Schröpel 2002). Die Separierung von Gülle hat sich in der landwirtschaftlich klein strukturierten Bodenseeregion bisher auch kaum verbreitet, weil das Verfahren mit hohen Kosten verbunden ist. Die Investitionskosten liegen bei ca. 20.000 € (ohne Kosten für zusätzliche Lagerkapazität). Damit ist das Verfahren für die meisten Betriebe unwirtschaftlich. Zudem ist der Arbeitsaufwand hoch und ohne erweiterte technische Vorkehrungen können auch die Ammoniakverluste hoch sein (Meier 1994). Bayerische Untersuchungen zeigen, dass auch in der festen Phase ein hoher schnell pflanzenverfügbarer Anteil von Ammoniumstickstoff verbleibt (Wendland 2009)⁴. Der Hauptnutzen entsteht durch die Verringerung von Transportkosten für die nährstoffreichen Feststoffe. Diese vergleichsweise kostengünstig in nährstoffarme Regionen oder zu Biogasanlagen transportiert werden. Die nährstoffärmere flüssige Fraktion verbleibt auf den eigenen Flächen. So können die Landwirte ihre Tierhaltung auch über bestehende GV-Grenzen⁵ ausweiten, ohne zusätzliche Fläche pachten oder kaufen zu müssen.

2.2. Güllezusätze, welche die Ammoniakfreisetzung hemmen (Gruppe A)

2.2.1. Säurezugabe

Das Gleichgewicht zwischen Ammonium-N in einer Lösung und flüchtigem Ammoniak hängt u.a. vom pH-Wert (Säuregehalt) ab. Ein hoher pH-Wert begünstigt Ammoniakverluste, während ein niedriger pH-Wert das Vorliegen von Ammonium-N begünstigt. In Labor- und Feldversuchen konnte nachge-

⁴ Auch die feste Phase darf daher nicht in der von der Düngeverordnung vorgegebenen Sperrfrist ausgebracht werden.

⁵ In den Mitgliedstaaten der EG ist aufgrund der Nitratrichtlinie die Tierhaltung auf der Fläche eines Betriebes beschränkt: hierzu wird die Ausbringung von Stickstoff aus Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft auf maximal 170 kg N /ha begrenzt.

wiesen werden, dass pH-senkende Güllezusätze die Ammoniakverluste deutlich verringern können (Vandré 1997, zit. In Hersener et al. (2002). Eine Absenkung des pH-Werts von Gülle auf einen stabilen Wert von 6 ist in der Regel ausreichend, um die Ammoniakemissionen um mindestens 50% zu reduzieren. Bei der Säurezugabe ist die Pufferkapazität der Gülle zu berücksichtigen. Diese hängt auch ab von der CO₂ Produktion und der Löslichkeit.

Die direkte Säurezugabe zur Absenkung des pH-Wertes von Gülle ist zwar wirksam in Bezug auf Ammoniakemissionen, erfordert aber große Mengen von anorganischen oder organischen Säuren. Neben hohen Kosten sind damit auch Risiken im Umgang mit aggressiven Chemikalien verbunden. Zudem können auch andere Emissionen (z.B. Lachgas, Schwefelwasserstoff) hervorgerufen werden. Bislang gibt es aus Versuchen unter Praxisbedingungen laut UNECE nur wenige positive Ergebnisse für diese Methode, sie wird daher als ungeeignet angesehen.

2.2.2. Zugabe von Urease-Inhibitoren

Der von Tieren ausgeschiedene Harnstoff wird umgehend durch das Enzym Urease abgebaut, wodurch sich Ammoniak, respektive Ammonium bildet. Laufflächen mit Urease-Inhibitoren zu spülen versprechen daher ein hohes Ammoniakreduktionspotential (Zähner et al. 2005), weil sie die Ammoniakbildung bereits am Ort der Entstehung verhindern.

Neuere Untersuchungen von Leinker (2007) belegen ein Minderungspotential der Ammoniakemissionen bei Milchviehhaltung auf befestigten Stallböden von 40 % bis 50 %. Das Ammoniakminderungspotential im Schweinestall wird auf 30 % bis 40 % geschätzt. Auch er unterstreicht die Notwendigkeit einer wiederholten Applikationsweise. Die Kosten belaufen bei 40 % Ammoniakminderung auf etwa sechs Euro bis etwa 32 Euro je kg gemindertem Ammoniak, abhängig von Entmistungstechnik, Applikationstechnik und dem Preis des Urease-Inhibitors. Forschungsbedarf besteht bei der technischen Umsetzung in bestehende Ställe, der Untersuchung der Auswirkungen auf die Verfahrenskette sowie weiterführenden Untersuchungen zur Realisierung des Inhibitoreinsatzes im Bereich der Schweinehaltung.

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass die Applikation von Urease-Inhibitoren auf befestigten Stallböden in Rinderlaufställen grundsätzlich eine wirkungsvolle Maßnahme zur Minderung von Ammoniakemissionen darstellt. Hohe Mittel- und Applikationskosten, verursacht durch häufig zu wiederholende Anwendungen verhindern jedoch bislang den Eingang in die Praxis. Neuere Ansätze befinden sich noch im Stadium der Forschung und Entwicklung.

2.3. Güllezusätze, welche die mikrobielle Umsetzungen der Gülle fördern oder steuern (Gruppe B)

2.3.1. Zugabe organischer Stoffe

Durch Zugabe von organischen Stoffen (zuckerhaltige Melasse, Bioabfälle) kann die Veratmung von Kohlenstoff und damit die CO₂-Produktion ansteigen. In wässriger Lösung entsteht Kohlensäure und durch die damit verbundene pH Absenkung können Ammoniakemissionen um bis 45% verringert werden (KTBL 1995, Zähner et al. 1995).

Problematisch bei der Zugabe organischer Zuschlagstoffe ist aber neben einer gesteigerten Geruchsentwicklung (Schwefelwasserstoff, org. Säuren) vor allem der Anstieg der Emissionen von anderen Treibhausgasen, insbesondere von Methan, weshalb dieses Verfahren außerhalb von Biogasanlagen nicht empfohlen werden kann.

Andere organische Zuschlagstoffe (Torf, Braunkohlenstaub) wirken vorrangig über Sorptionsmechanismen an den Oberflächen. Torf kann 2,5% des Eigengewichts als NH₃-N binden (Peltola 1986 zit. in Mc Crory und Hobbs 2001) und dient auch der Bodenverbesserung. Braunkohlestaub kann in Gülle

eingeblassen werden und führte bei Feldversuchen von Pflug und Straub (2007) zu sehr guten Ergebnissen (Emissionsreduktion bis zu 99%). Doch ist der Einsatz dieser Stoffe mit spezifischen Nachteilen verbunden. Neben der Frage der Verfügbarkeit und Umweltaspekte bei Produktion und Transport, ergibt sich bei Torf das Problem, eine mind. 20 cm dicke Schwimmdecke herzustellen, zu erhalten und auch letztlich wieder auszubringen. Das Einblasen von Braunkohlestaub in Güllebehälter erfordert Vorkehrungen gegen die bestehende Explosionsgefahr. Ist bisher als nicht praxistauglich einzustufen.

2.3.2. Gesteinsmehle, Tonminerale, Algenkalk, Zeolith

Gesteinsmehl (oder sog. Urgesteinsmehl) ist ein Oberbegriff für zerkleinertes Gestein ganz unterschiedlicher Art. Als Handelsware sind Gesteinsmehle aus Kalkstein, Tuff, Basalt, Diabas, Granit und ähnlichen Gesteinen geläufig. Im weiteren Sinne gehören auch sog. „natürliche Zeolithe“ dazu. Dies sind Aluminiumsilikate mit unterschiedlich hohem Anteil an dem Mineral Klinoptilolith.

Eine mögliche positive Wirkung der Gesteinsmehle wird vor allem durch die Mineralzusammensetzung, die Ionenaustauschkapazität, das Sorptionsvermögen sowie den Zermahlungsgrad bestimmt. Die Minerale Naturzeolith (Klinoptilolith) und Montmorillonit (Mineraliengruppe Zeolithe und Bentonite) sind in Böden vorkommende Minerale. Sie verfügen über eine hohe Mikroporosität und eine deutlich höhere aktive Oberfläche als andere Gesteinsmehle oder Kalkprodukte, deren Kationenaustauschkapazität bei weitem nicht ausreicht, um eine Bodenverbesserung zu bewirken (Blum et al. 1989).

Gesteinsmehle, Tonminerale, Algenkalk können auch aufgrund ihrer physikalischen Eigenschaften einen Beitrag zur Verringerung der Ammoniakemissionen leisten oder andere positive Eigenschaften haben. In wissenschaftlichen Untersuchungen werden Emissionsreduktionen aber nur selten nachgewiesen oder sind nicht reproduzierbar. In der deutschen Düngemittelverordnung werden diese Produkte als „Bodenhilfsstoffe“ eingestuft. Der Nachweis einer Wirksamkeit ist damit nicht erforderlich; sie müssen nur gekennzeichnet sein.

Dennoch bescheinigen Landwirte den von ihnen verwendeten Güllezusätzen oftmals eine positive Wirkung mit Blick auf Pflanzenverträglichkeit, Fließfähigkeit oder Geruchsverminderung (Gerber 2003). Die Emissionsminderung steht hierbei nicht unbedingt im Vordergrund (und konnte von den befragten Landwirten auch nicht direkt beobachtet werden). Die positiven Erfahrungen stehen vermutlich auch in Zusammenhang mit den hohen Kosten (0,2 - 2,0 €/m³, 200 - 2000 €/Jahr), welche durch den Einsatz dieser Güllezusätze entstehen. Dies kann zu einem überlegten Umgang mit dem Mehrnährstoffdünger Gülle und mit dem darin enthaltenen Stickstoff führen und, als Folge des „erzieherischen Effekts“, geringere Ammoniakemissionen bewirken (Kunz und Federer 1999, Gerber 2003). Wissenschaftlich sind signifikante Emissionsreduktionen, die in einem vertretbaren Verhältnis zu den Kosten stehen, bisher nicht publiziert. Nach Erkenntnissen des Landwirtschaftlichen Zentrums für Rinderhaltung, Grünlandwirtschaft, Milchwirtschaft, Wild und Fischerei Baden-Württemberg (LAZBW) in Aulendorf ist der Einsatz von Zusatzmitteln in der Regel nicht wirtschaftlich.

Relativ unbestritten hingegen ist der Beitrag einiger Güllezusätze zur Homogenisierung der Gülle (Kunz 1996). Auch Döhler, KTBL (mdl. Mitteilung) bescheinigt, dass gewisse Güllezusätze wie Gesteinsmehle oder biologisch wirkende Zusätze die Fließfähigkeit/Homogenisierung der Gülle verbessern, die Schwimmdeckenbildung reduzieren, den pH-Wert stabilisieren und einen Beitrag zur Minderung der Geruchsemissionen (nicht nur verursacht durch NH₃) leisten können.

Eine erste größere Literatursammlung wurde von Dewes (1987) in seiner Dissertation erarbeitet. Dewes führte Laboruntersuchungen mit Agrigest und Agriben hauptsächlich zu Fragen der Fermentation durch und kam zu dem Ergebnis, dass die Wirkung der Präparate nicht eindeutig beurteilt werden konnte. Der Grund für den nur geringen Sorptionseffekt beim Bentonit liegt vermutlich in der unspezifischen Sorption für Ammonium, d. h. dass andere Kationen aus der Gülle sorbiert werden (Huber 1994).

Über die Nitrifikation von Gülle führten Gautschi und Jäggi (1978) Untersuchungen durch. Sie erkannten, dass mit Bentonit (Agriben) die Nitrifikation verbessert werden kann, doch bedurfte es hoher Mengen an diesem Präparat (1% der Güllemenge), um einen Effekt zu erzeugen. Hersener et al. (2002) führen dies darauf zurück, dass das Tonmineral Bentonit unspezifische Sorptionseigenschaften aufweist und außer Ammonium auch andere Kationen sorbiert.

Am Lehr-, Versuchs- und Fachzentrum für Milchviehhaltung und Grünland Spitalhof liefen von 1982-1985 umfangreiche Versuche mit 8 verschiedenen Präparaten. Darüber berichteten Blendl und Schröpel (1985) im Bayerisch-österreichischen Gülle Kolloquium 1985. Im Rahmen dieses Projektes wurden Veränderungen der Gülleinhaltsstoffe gemessen, Schadgase festgestellt, Erträge und Pflanzenbestand geprüft, sowie Untersuchungen zur Fresslust durchgeführt. In einigen Aufbereitungen konnten durchaus Wirkungen der Zusatzstoffe beobachtet werden, doch waren die Ergebnisse nicht reproduzierbar. Bei den Gasmessungen stellte Blendl (1985) fest, dass einige Präparate eine Wirkung auf das eine oder andere Schadgas zeigten, allerdings in beide Richtungen. Im gleichen Kolloquium berichteten Furlan et al. (1985) über zwei Versuche mit Güllezusatzstoffen, die keine gesicherten Wirkungen hinsichtlich Pflanzenbestand und Ertrag hatten.

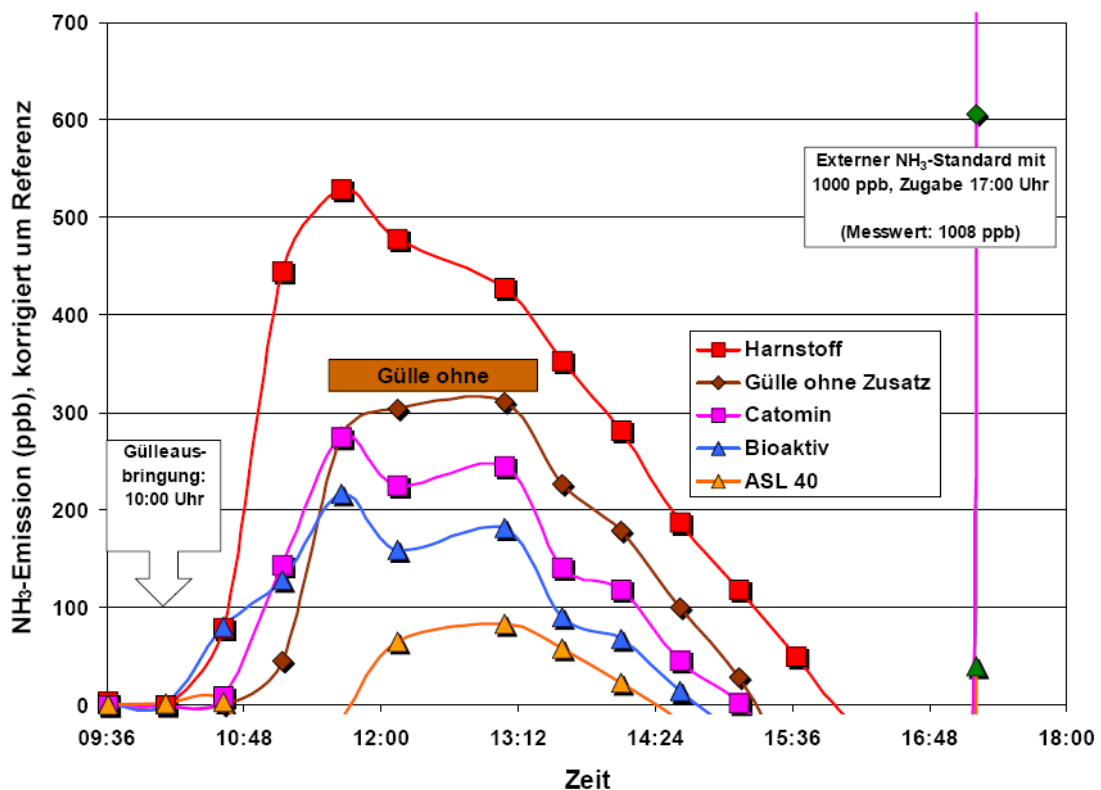


Abbildung 3: NH₃-Emission aus Gülle mit verschiedenen Güllezusätzen (Schröpel und Henkelmann 2006).

Neuere Untersuchungen am Spitalhof bescheinigen einigen Zusätzen allerdings durchaus auch einen positiven Effekt (Schröpel und Henkelmann 2006). Hierbei kann es, je nach Art des Zuschlagstoffes durchaus zu einer Verminderung der Ammoniakemission und damit zu einer Reduzierung von ökologischen Belastungen führen (Abbildung 3). Die Autoren räumen jedoch ein, dass eine Verminderung der Ammoniakemissionen vor allem auch durch eine verbesserte Ausbringtechnik und einfache Maßnahmen bei der praxisgerechten Ausbringung möglich ist. Bereits die Verdünnung mit Wasser, so die Autoren, kann ähnliche Emissionsminderungen hervorrufen.

Auch an der Lehr- und Versuchsanstalt Aulendorf wurden über viele Jahre Versuche mit Güllezusatzstoffen durchgeführt (Arbeiten von Elsässer, Briemle und Kunz). Über Feldversuche zur Prüfung

von Güllezusatzstoffen berichtete zunächst Kunz (1985). In der Prüfung waren Bentonit, Agrigest, Agriben und Vesuvit. Nach 3-jähriger Versuchsdauer kam er zu der Erkenntnis, dass im Vergleich zur normalen Gülle die Erträge durch die Zusatzstoffe in der Tendenz anstiegen, die Fließfähigkeit und Pflanzenverträglichkeit verbessert wurden, aber all diese Effekte waren statistisch nicht zu sichern. In ähnlicher Weise resümieren Elsässer et al. (2008): Auch nach 22 Versuchsjahren zeigten Gesteinsmehle im Feldversuch eines biologisch-dynamischen Betriebs keine positiven Effekte auf den Grünlandertrag im Vergleich zur unbehandelten Gülle.

Schechtner (1993) verglich unbehandelte Gülle mit solcher unter Zusatz von Biolit und Agriben und fand, dass die geprüften Zusätze keine Verringerung der Stickstoffverluste während der Lagerung bewirken.

Unter den Titeln „Ein besseres Stallklima“ und „Schonung für die Wurzeln“ berichtete Mokry (2005) über umfangreiche Untersuchungen über das Präparat Glenor KR mit überraschend positiven Wirkungen. Die Untersuchungen zu dem vom Autor festgestellten Mehrertrag bei der Milchproduktion und Verbesserung der Stallluft können nicht abschließend bewertet werden. Die pflanzenbaulichen Versuche hierzu fanden ohne Wiederholungen als Demonstrationsversuche statt, so dass diese Erkenntnisse nicht gesichert sind. Nach Aussagen von Elsässer (Aulendorf) wird im Unterschied zur LUFA Augustenberg auch Glenor KR eher skeptisch beurteilt, weil sich hinsichtlich des Pflanzenbestandes kaum Änderungen ergaben. Trotz langjähriger Versuche gibt es kaum höherrangige Publikationen.

Auch nach Aussage des KTBL (Döhler, mdl. Mitteilung) liegen über Gesteinsmehle und andere Güllezusätze zu wenig verlässliche Informationen vor. Fakt ist, dass seit mehr als 30 Jahren Zusätze immer wieder unter anderem Namen auftauchen, häufig die Wirkung aber nicht erwiesen ist. Es hat sich auch keiner der Zusätze entscheidend in der Praxis durchgesetzt. Mit einer nennenswerter Bindung von Ammonium ist nicht zu rechnen. Ein mit vertretbarem Aufwand wirksames Präparat ist bisher nicht bekannt.

2.3.3. Bakterienpräparate

Ähnliches gilt für Präparate mit so genannten „effektiven Mikroorganismen“ (EM). Bakterienkulturen, deren Zusammensetzung von den Herstellern geheim gehalten wird, werden in zuckerhaltiger Melasse aus einer Stammkultur heraus beim Landwirt selbst vermehrt und als Futterzusatz oder direkt in die Güllegrube eingebracht. Weil die Zusammensetzung nicht genau bekannt ist, entzieht sich ihre Wirkungsweise wissenschaftlichen Erklärungsversuchen. Eine Vielzahl von Umweltparametern (z.B. Medikamenteneinsatz mit Antibiotika) entscheidet über die Vitalität der eingesetzten Kulturen, die sich gegenüber der vorhandenen Gülleflora durchsetzen muss. Daher ist die Wirkungssicherheit und Reproduzierbarkeit der Ergebnisse oftmals unbefriedigend (McCrary und Hobbs 2001).

Gemäß Amon et al. (2004) zeigte der Zusatz Effektiver Mikroorganismen (EM) am Beginn der Lagerung von Milchviehflüssigmist (TS-Gehalt 9.39 %) durchwegs positive Wirkungen. Methanemissionen wurden durch den Zusatz nur geringfügig beeinflusst. Ammoniak- und Lachgasemissionen sowie das Geruchsemissionspotenzial sanken signifikant ab. Die Summe an klimarelevanten Emissionen war nach Zugabe von EM geringer als bei unbehandeltem Flüssigmist. Bei dünnflüssiger Schweinegülle aber sind negative Effekte auf die Emission von NH_3 und anderen Klimagasen zu messen gewesen. Neuere Versuche des Autorenteam erbrachten zwar eine Reduktion der Ammoniakemissionen auch bei Schweinegülle (höhere TS Gehalte). Allerdings erhöhte sich dann die Summe an klimarelevanten Emissionen insgesamt um 24% (Amon et al. 2005a).

2.4. Beeinflussung mikrobieller Umsetzungen durch „feinstoffliche Informationen“ (Gruppe C)

Neben Güllezusätzen mit biologischer Wirkung werden auch informativ wirkende Verfahren im Handel angeboten, welche die biologischen Prozesse unterstützen sollen. Hierbei wird entweder „gebündelte kosmische Energie“ auf einen Trägerstoff übertragen. So soll die Information „Sauerstoff“ oder „Gesunder Boden“ auf Quarzmehl, Kreidemehl Calciumcarbonat oder andere nicht synthetischen Trägerstoff übertragen werden. Was genau bei der Energieakkumulation geschieht, bleibt ein Geheimnis der Hersteller (Grünig 2004). Gleiches gilt bei der Dynamisierung und Potenzierung von Mikro- und Makronährstoffen und sonstigen Wirkstoffen (ähnlich der Homöopathie, Trägerstoff ist hier in der Regel Wasser).

Bezüglich der Fließfähigkeit von solcherart behandelten Gülle fand Schröpel (1998), dass die Unterschiede in der Fließfähigkeit zum größten Teil durch den Trockenmasse-Gehalt bedingt waren und Zusatzstoffe keine Veränderungen brachten. In diesen Untersuchungen erbrachte ein untersuchter Kalkschlamm oder ein „aufgewertetes“ Kreidepulver keinen gesicherten Einfluss auf Ertrag oder Pflanzenbestand im Grünland. In einer weiteren Untersuchung verglich Schröpel (2007) eine mit Kreidemehl, bzw. „Penac“ versetzte Gülle mit Kontrollvarianten ohne Zusätze. Er konnte keinen Effekt der Präparate hinsichtlich Schwimmdeckenbildung, Ertrag oder Pflanzenbestand feststellen⁶.

Über das Präparat Penac führten auch Buchgraber und Resch (1993) Untersuchungen durch. Sie kamen zu dem Schluss, dass das Präparat keinen aeroben Prozess einleiten konnte, die Fließfähigkeit nur unwesentlich verändert wurde und eine Geruchsverminderung nicht gelang.

Andere Felduntersuchungen, bei denen das Lagergut mit elektromagnetischen Feldern (Radionik) behandelt wurde, haben eine statistisch nicht abgesicherte Erhöhung des gebundenen Stickstoffs gezeigt [Zürcher 2006]. Auch hier ist die Wirkungsweise, sofern es sich um reproduzierbare Ergebnisse handelt, nach Ansicht des Autors noch unzureichend erforscht.

⁶ Vermutlich war die Gülle der Kontrollvariante dünn (ca. 4-5% TS sind am Spitalhof üblich) und damit bereits im „Idealzustand“.

3. Empfehlungen für die Praxis

Die **Verdünnung** der Gülle ist vor allem **zur Ausbringung** in den Sommermonaten zu empfehlen. Die Löslichkeit für Ammoniak wird hierdurch erhöht. Zudem wird ein großer Teil der unerwünschten Geruchsemissionen verhindert. Die Fließfähigkeit wird bei Verdünnung deutlich verbessert, wodurch die Gülle rasch in den Boden einsickert. Im Grünland verbessert dies auch die Pflanzenverträglichkeit und verringert die Futtermittelverschmutzung. Eine Verdünnung der Gülle muss auch bei der bodennahen Ausbringungstechnik empfohlen werden. Eine Verdünnung unter 5%TS kann aus Kosten- und Bodenschutzgründen nicht allgemein empfohlen werden. Bei trocken-warmer Witterung jedoch, macht eine Verdünnung bis 3% TS im Grünland durchaus Sinn. Das in der Schweiz empfohlene Verhältnis Wasser/Gülle liegt bei 1:1 für Rindergülle und 1:2 für Schweinegülle.

Eine Verdünnung der Gülle bereits während der Lagerung über das betriebsübliche Maß hinaus (ca. 1:0,5 bis 1:1) ist keine sinnvolle Maßnahme. Dies erhöht die Kosten der Lagerung und erhöht das Risiko von umweltbelastenden Nährstoffausträgen, wenn Gülle bei knappen Kapazitäten zur Unzeit ausgebracht werden muss.

Rühren und Belüften mit Beseitigung der Schwimmschichten ist hinsichtlich der Reduzierung der NH_3 -Abgasung contraproduktiv. Gülle und Jauche sollte vom Stall/Laufhof so schnell wie möglich in die (möglichst abgedeckten) Behälter abgeleitet werden und dort bis zur Ausbringung nicht, bzw nur minimal bewegt werden. Zur Ausbringung in heißen Sommermonaten ist ein mäßiges Homogenisieren zu empfehlen, so dass die Schwimmschicht nicht zerstört wird.

Bei dünnflüssigen **Biogasgärsubstraten** (mit hohem Ammoniumanteil und daher hohem Verlustrisiko) und bei Gülle mit ohnehin sehr niedrigen TS-Gehalten ist eine weitere Verdünnung aufgrund der sehr guten Fließeigenschaften in der Regel nicht erforderlich. Damit die Stickstoffverluste gering bleiben, müssen Gärsubstrate geschlossen gelagert werden und zwingend emissionsarm, am besten mit entsprechender Technik (z.B. Schlitzgeräte, Güllegrubber), ausgebracht werden. Bei erhöhten TS Gehalten der Gärsubstrate (> 5% TS) durch Zugabe großer Mengen an organischen Zuschlagstoffen (Mais, Grassilage etc.) erscheint eine Verdünnung zur Ausbringung jedoch zweckmäßig.

Gesteinsmehle, biologisch wirkende oder organische **Güllezusätze** können bei einzelnen Produkten einen Beitrag zur Verringerung der Ammoniakemissionen leisten oder andere positive Eigenschaften haben. In unabhängigen, wissenschaftlichen Untersuchungen blieben die Wirkungen vieler Produkte aber oftmals hinter den Erwartungen zurück. Eine produktbezogene, differenzierte Betrachtung erscheint geboten. Einige Zusätze leisten einen Beitrag zur Homogenisierung der Gülle. Sie verbessern ihre Flieseigenschaften und reduzieren die Schwimmdeckenbildung. Positive Wirkungen mit Blick auf die Emissionsreduktion bzw. auf erzielbare Ertrags- und Qualitätsverbesserungen des Ernteguts sind aber bisher wissenschaftlich nicht ausreichend belegt. In Einzelfällen sind auch negative Effekte auf die Emission von NH_3 und anderen Klimagasen gemessen worden. Daher und aufgrund der Verschiedenartigkeit von Güllezusätzen sind einheitliche Aussagen zu Güllezusätzen nicht möglich. Wegen der zumeist hohen Kosten in Verbindung mit dem eher geringen Nutzen können sie nach bisheriger Erkenntnis nicht allgemein empfohlen werden. Wenn nach bewährter guter fachlicher Praxis gedüngt wird, ist durch Zusatzstoffe zu Gülle keine wesentliche Beeinflussung der Güllequalität und der Pflanzenerträge zu erwarten.

4. Forschungsbedarf

Teilweise gute Erfahrungen in der Praxis mit diversen Verfahren der Güllebehandlung zeigen, dass das Potenzial für weitere vergleichende wissenschaftliche Untersuchungen auf diesem Gebiet noch nicht ausgeschöpft ist. Bereits bei der Entwicklung von Produkten wäre jedoch eine systematischere Herangehensweise nötig. Insbesondere Wechselwirkungen zwischen Behandlungsverfahren und Güllezusätzen i.e.S. sind zu wenig untersucht. Zur vergleichenden Bewertung der NH_3 -emissionsmindernden Wirkung sind standardisierte Versuche im halbtechnischen oder besser noch, im Praxismaßstab erforderlich. Diese müssten auf verschiedenen Betrieben bzw. mit Gülle von verschiedenen Betrieben über längere Zeiträume erfolgen. Die IBK regt an, die auf diesem Gebiet noch bestehenden Forschungslücken konzentriert zu verfolgen.

5. Anhang

| Produkt/ Methode | Beschreibung | Produktbeispiele (Auswahl) | Effekt auf die Emissionen (laut Autor) | Kommentar (IBK) | Quellen |
|---|--|---|--|--|--|
| 5.1. Behandlungsverfahren, welche die Fließfähigkeit beeinflussen, ohne Güllezusätze | | | | | |
| Verdünnung mit Wasser (bei der Ausbringung) | <ul style="list-style-type: none"> › Normale Ri Gülle: 10% TS 1:0.5 = 6.67% TS 1:1 = 5% TS Verbessert die Fließfähigkeit der Gülle, die dadurch besser in den Boden fließen kann | | <ul style="list-style-type: none"> › Wasser bindet Ammoniak, da es sich darin auflöst, max. bis zu 700 l NH₃-Gas in 1 l Wasser. › Wasserzusatz erleichtert das Homogenisieren und das Abfließen der Gülle im stehenden Bestand. Durch den schnelleren Bodenkontakt wird eine Emissionsminderung erreicht. › Lt. Schröpel (2004) nimmt die Fließfähigkeit bei weniger als 5% TS kaum noch zu. › Ausbringung: 1:1 verdünnte Gülle bringt eine um ca. 25% verbesserte N-Ausnutzung. › Geringere Geruchsbelästigung. | <ul style="list-style-type: none"> › Kosten: hoch (Lager, Transport und Arbeit) › Größere Lagerungs- und längere Transportkapazitäten sind erforderlich. Ein Bauer muss zum Ausbringen einer bestimmten N-Menge mehr Fahrten zurücklegen (höhere Dieselkosten). Die Verdünnung ist vor allem bei Gülleverschlauungen und im Falle der Fassausbringung bei geringen Hof-Feld-Entfernungen geeignet. › Die Verdünnung der Gülle bei der Ausbringung wird oft als die einfachste und preisgünstigste Güllebehandlung bezeichnet. | <ul style="list-style-type: none"> › Hersener et al. (2002) › http://gruenland-online.de/dedi335.yourserver.de/html/duengung/wirtschaftsduenger/guellebehandlung/guellebehandlung.html › Schröpel (2002, 2004) › Zähler et al. (2005) |
| Homogenisieren | <ul style="list-style-type: none"> › Aufrühren mittels Tauchpumpe vor der Ausbringung | | <ul style="list-style-type: none"> › Verringerung von N-Verlusten durch Erzielung einer homogenen, fließfähigen Gülle › Jedes Rühren verstärkt die Gefahr von N-Verlusten, daher nur kurze Mischphasen in zweckmäßigen Intervallen | <ul style="list-style-type: none"> › Erhöhter Wasserzusatz während der Lagerung begünstigt die Ausbildung von Schwimm- oder Sinkschichten. Damit steigt ggf. der Rühraufwand › Unnötige Bewegungen sollen vermieden werden. | <ul style="list-style-type: none"> › Hersener et al. (2002) |
| Belüften | <ul style="list-style-type: none"> › Eintrag von Sauerstoff ca. 10-20 m³ Luft/m³ Gülle in 3-4 Monaten Lagerzeit, zusätzlich Umwälzung. › Hierbei werden aerobe Bakterien gefördert, Nitrat wird gebildet | Belüftungsanlage z.B. mit Saugpropeller | <ul style="list-style-type: none"> › Geruchsminderung beim Ausbringen (Abbau von Merkaptanen), während der Lagerung aber werden geruchsintensive Gase ausgetrieben. › Erhöhte N-Verluste durch Ammoniakemissionen: 5-25% des N gehen verloren. | <ul style="list-style-type: none"> › Fließfähigkeit verbessert durch Abbau organischer Substanz. › Belüftungspausen und Desinfektionsmittel machen den Effekt leicht zunichte. › Kostspielig › Wegen hoher Emissionen nicht zu empfehlen | <ul style="list-style-type: none"> › Hersener et al. (2002) › aid/KTBL (2003), S. 46 |

| Produkt/ Methode | Beschreibung | Produktbeispiele (Auswahl) | Effekt auf die Emissionen (laut Autor) | Kommentar (IBK) | Quellen |
|---------------------|---|--|--|---|---|
| | | | › Bei intensiver Belüftung Umwandlung zu Nitrat → Denitrifikation insbesondere bei Belüftungspausen. | | |
| Gülleseparierung | › Abtrennung der flüssigen Phase › Getrennte Lagerung und Transport | › Geräte mobil oder stationär › Mit Sieben, Walzen oder Schnecken | › Hoher Ammoniumanteil der Flüssigphase: gute Düngewirkung und höheres Emissionsrisiko bei Ausbringung › Potenzial zu NH ₃ -Emissionsreduktionen bei der Ausbringung durch bessere Fliesseigenschaften | › Durch Abgabe der Feststoffe Entlastung der innerbetrieblichen Nährstoffbilanz (170kg Regel) › Fließfähigkeit und Düngewirkung der Flüssigphase (durch hohen NH ₄ -Anteil) sehr gut. › Sinnvoll in Kombination mit Biogas › Hohe Investitionskosten und ggf. zusätzliche Lagerbehälter | › Hersener et al. (2002) › Meier (1994) › Schröpel (2002) |
| Biogasverfahren | › Methangärung zur Energiegewinnung in geschlossenen Behältern (Fermenter). › Abbau der C-Verbindungen (TS-Gehalt sinkt) | | › Keine Emissionen während des Prozesses › Gefahr erhöhter Emissionen bei offenen Behältern als Endlager › Gefahr erhöhter Emissionen bei Ausbringung | › Fließfähigkeit verbessert durch Abbau organischer Substanz. › Düngewirkung durch hohen NH ₄ -Anteil sehr gut. | › Hersener et al. (2002) |

5.2. Güllezusätze Gruppe A: Hemmung mikrobieller Umsetzungen

| Produkt/ Methode | Beschreibung | Produktbeispiele (Auswahl) | Effekt auf die Emissionen (laut Autor) | Kommentar (IBK) | Quellen |
|------------------------|---|--|---|---|--|
| Urease- Inhibitoren | › Blockieren die Umwandlung des Harnstoffes in NH_3 und NH_4^+ | › Metallsalze | › Reduktion der Ammoniakemissionen in Laborversuchen von bis zu 80% | › Nur temporäre Wirkung; die Häufigkeit der Applikation und die eingesetzte Menge haben einen grossen Einfluss › Kosten: hoch | › Zähler et al. (2005) |
| Säuren | › Senkung des pH-Wertes: die Umwandlung von Harnstoff zu NH_3 und NH_4^+ wird verlangsamt | › Salpetersäure › Salzsäure › Milchsäure | › Reduktion der Ammoniakemissionen in Laborversuchen von bis zu 90%, in der Praxis bis 61% › Versuche mit 32%iger HCl bewirkten bei Rohgülle eine zeitlich begrenzte Inhibition der Harnstoffhydrolyse, bei separierter Dünggülle eine vollständige Hemmung über 400 h | › Nachteil von Salpetersäure: Erhöhung der Lachgas- und Methanemissionen › Vorteil von Milchsäure: Senkung der Lachgas- und Methanemissionen › Nachteil aller Säuren: Risiken für die Arbeitssicherheit, Korrosion, schlechte Praxistauglichkeit › Kosten: hoch, sehr schlechtes Preis-Leistungsverhältnis › Wiederholte Zugabe nötig | › Hersener et al. (2002) › Zähler et al. (2005) |

5.3. Güllezusätze Gruppe B: Förderung oder Steuerung mikrobieller Umsetzungen

| Produkt/ Methode | Beschreibung | Produktbeispiele (Auswahl) | Effekt auf die Emissionen (laut Autor) | Kommentar (IBK) | Quellen |
|----------------------------|---|---|---|---|---|
| Gesteinsmehle | <ul style="list-style-type: none"> › Kalkhaltige oder silikatische (Ur-)Gesteinsmehle Teilweise angereichert mit „nützlichen“ Bakteriensporen. › Catomin = Kalkschlamm + Si-Oxid + Spurenelemente | <ul style="list-style-type: none"> › Biolit Urgesteinsmehl › Naturalit, Diabasgesteinsmehl (früher Ringolit) › Catomin › Vulkamin › Terrastrat › PRP Gülle › Ringolit › Sojall Bio Power Produkte u.a. mit Gesteinsmehl › Güll-aktiv | <ul style="list-style-type: none"> › Gesteinsmehle nehmen Geruch, zumindest kurzzeitig. Aufgrund der physikalischen Eigenschaften ist kaum mit nennenswerter Bindung von Ammonium zu rechnen › Lt. Schröpel (2007) keine Wirkung | <ul style="list-style-type: none"> › Zusätze auf der Basis von Mineralien haben sich in wissenschaftlichen Versuchen als wenig wirksam erwiesen. › Reaktive Oberflächen sind theoretisch als Sorptionsfläche denkbar. › Einflüsse auf die Mikrobiologie bisher nicht unabhängig untersucht. Schaffung von Biofilmen denkbar. | <ul style="list-style-type: none"> › Blendl (1985) › Elsässer et al. (2008) › KTBL (1995) › Schröpel (2007) › Zähler et al. (2005) |
| Tonminerale (Bentonite) | <ul style="list-style-type: none"> › Glenor KR+: Produkt aus Rotalgen und Bentonit-Montmorillonit, mit Spurenelementen (Zn, Se) und Kräutern und „Güllerotter“ angereichert und kann als Mineralfutterzusatz und zur Güllebehandlung verwendet werden. › Actilith aus Algenkalk und Tonmineralen ca. 1 kg/m³ | <ul style="list-style-type: none"> › Sojall Micro Power › FIMONIT Produkte u.a. mit Tonmineralien › Actilith › Glenor KR+ › Agriben › Güll-aktiv › Terrastrat | <ul style="list-style-type: none"> › Glenor KR+: Reduziert die Ammonium-N-Emissionen um rund 10%, wenn das Produkt in die Gülle eingemischt wird und um bis zu 20%, wenn das Produkt verfüttert wird. › Glenor KR+: Labor- und Freilandversuchen zeigen, dass die Erträge unter Applikation von behandelten Rindergülle im Vergleich zu unbehandelten steigen. Die Erträge sind höher, wenn das Produkt verfüttert wird als wenn es vermischt wird. | <ul style="list-style-type: none"> › Die genaue Deklaration ist unklar. › Keine Kostentransparenz bei Glenor KR › Die Versuche wurden in einer staatlichen Forschungsanstalt (D) durchgeführt. Sie sind jedoch ungenügend dokumentiert (Anzahl Messungen, statistische Angaben). › Die Übertragung der im Labor gemessenen Emissionsreduktionen auf Freilandbedingungen ist nur beschränkt möglich. › Geringes Sorptionsvermögen von Bentonit wegen unspezifischer Sorption von Ammonium (d.h. andere Kationen aus der Gülle werden ebenfalls gebunden). | <ul style="list-style-type: none"> › Mokry (2005) › Hersener et al. (2002), S. 39. |

| | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|
| Algenkalke, Algen (Frisch- und Trockenalgenextrakte) | › Siehe oben | › Glenactin 290 B › Hasolit B Pulver › Hasorgan MC › Homogen Produkte u.a. mit Algen › Acthilith › Amalgerol › Enzymix › Glenor KR+ › Güll-aktiv | › Vgl. Tonmineralien, da die dokumentierten Produkte (Glenor KR+) kombinierte Algen-Tonmineralien-Produkte sind | › Vgl. Tonmineralien, da die dokumentierten Produkte (z.B. Glenor KR) kombinierte Algen-Tonmineralien-Produkte sind | › Mokry (2005) › Hersener et al. (2002), S. 39. |
| Kohleprodukte | › | Braunkohle fein vermahlen Braunkohle nstaub | › Reduktion der Emissionen um bis zu 99% | › Versuch on farm, nicht unabhängig, nicht wiederholt. Problem: Transport, Entzündungsgefahr, hohe Kosten: 1-2 €/m ³ | › Felgener et al. (1993) › Pflug und Straub (2007) › |
| Zucker, Melasse, und Stärkehaltige Produkte und Bioabfälle und Strohmehl | › Nahrungsquelle für Mikroorganismen zur Produktion von Säuren (pH Absenkung) › Umbau von NH ₄ ⁺ zu langsam wirkendem N _{org} | › Acthilith › Almalgerol › Compostin F › Güll-aktiv | › Reduktion der Ammoniakemissionen um 45% | › Bioabfallzugabe senkt den pH Wert ab, biologisch gut zu erklären, aber Methanemissionen werden induziert › Nur in Biogasanlagen sinnvoll | › Zähler et al. (2005) › KTBL (1995) › Melassezusatz ist patentiertes Verfahren DE19714588A1 15.10.98 |
| Zusätze auf der Basis von Mineralien, Enzymen, Bakterien, Pilze | › | › Enzymix Mikrobenkultuen › Casibac P15 › Microbe Lift Produkte u.a. mit Mikroorganismen › Acthilith | › Minderung der Ammoniak- und Geruchsemissionen zuwenig quantifiziert | › Kosten: mittel › Ein mit vertretbarem Aufwand wirksames Präparat ist nicht bekannt | › FAT (2005) › KTBL (1995) |

5.4. Güllezusätze Gruppe C: Beeinflussung mikrobieller Umsetzungen durch „feinstoffliche Informationen“

| Produkt/ Methode | Beschreibung | Produktbeispiele (Auswahl) | Effekt auf die Emissionen (laut Autor) | Kommentar (IBK) | Quellen |
|--|--|--|---|--|---|
| Gebündelte Energie auf einem Trägerstoff | <ul style="list-style-type: none"> › Z.B. Übertragung der Information Sauerstoff mittels kosmischer Energie auf Calciumcarbonat, Quarzmehl, Kreidemehl oder jedem nicht synthetischen Trägerstoff | <ul style="list-style-type: none"> › Bioaktiv (1 kg/ 100 m³ Gülle, Kreidemehl) › Penac g (Gülle) › Plocher Gülle & Jauche › Plocher Schweingülle › Produkt u.a. mit Energieübertragung › Sojall Bio Power › Sojall Micro Power | <ul style="list-style-type: none"> › Lt. Schröpel (2007) keine Wirkung nachweisbar › Blasenbildung in der Gülle › Herstellerangaben (Plocher G&J): › Gülle wird in den Rottezustand (aerob) übergeführt, besseres Stallklima, weniger Fliegen › Homogenisierung der Gülle, unauffälliger Geruch › gelegentliches Aufrühren genügt › keine Verätzungen, auch bei heißem Wetter › Nährstoffe bleiben erhalten und sind pflanzenverfügbar › Humusaufbau im Boden › keine Gewässerbelastung › Durch die Behandlung der Gülle erhöht sich der Anteil des pflanzenverfügbaren Ammoniaks. Man kann bis zu 0.5 kg/m³ dazurechnen. | <ul style="list-style-type: none"> › Nicht bewiesene Wirksamkeit in Bezug auf NH₃-Abgasung › Kein Unterschied zwischen Quarzmehl und energetisiertem Quarzmehl nachweisbar. Parameter waren u.a. NH₄-Gehalt, Schwimmdeckenbildung, Ertrag über 3-jährigen Durchschnitt. › Die Penac-Variante zeigte weniger Gräser und mehr Kräuter › Keine Empfehlung | <ul style="list-style-type: none"> › Bildungs- und Wissenszentrum für Viehhaltung, Grünland, Wild und Fischerei in Aulendorf › PD Dr. M. Elsaesser: martin.elsaesser@lvvg.bwl.de › Schröpel (1998, 2007) |
| Dynamisierung und Potenzierung von Mikro- und Makronährstoffen und sonstigen Wirkstoffen | <ul style="list-style-type: none"> › Prozess und Vorgehen analog zur Homöopathie (biologisch-biochemischer Wirkstoffaktivator) › Trägerstoff ist i.d.R. Wasser | <ul style="list-style-type: none"> › Biplantol plus › Micro Tonic | <ul style="list-style-type: none"> › Herstellerangaben (Biplantol plus) › Beschleunigte Homogenisierung/ Verflüssigung von Gülle durch schnelleren Feststoffabbau. › Deutliche Geruchsverminderung › Vermeiden von Verätzungen bei Pflanzen und Bodenlebewesen bei Gülleausbringung › Bis zu 100% Einsparung von hoffremdem Dünger › Bessere Futterqualität | <ul style="list-style-type: none"> › Nicht bewiesene Wirksamkeit in Bezug auf NH₃-Abgasung | <ul style="list-style-type: none"> › Bildungs- und Wissenszentrum für Viehhaltung, Grünland, Wild und Fischerei in Aulendorf › http://gruenland-online.de |

| | | | | | |
|-----------------------------------|---|--|--|--|--|
| Primär-/Gravitationsenergiefelder | <ul style="list-style-type: none"> › Primärenergietechnik und Dynamische Gravitationsfelder | <ul style="list-style-type: none"> › Mundus „Prige“ | <p>Laut Herstellerangaben:</p> <ul style="list-style-type: none"> › Kein Rühren mehr › Abbau von Schwimmschichten › Gülle wird homogen › Gülle wird verträglicher › Aerobe Umsetzung der Gülle › Einsparung von Stickstoffdünger bis 50% pro Jahr › Gülle stinkt nicht mehr | <ul style="list-style-type: none"> › Nicht bewiesene Wirksamkeit in Bezug auf NH₃-Abgasung | |
| Radionik | <ul style="list-style-type: none"> › Herstellung radionischer Mittel, die das entsprechende Medium - Wasser oder Gülle - energetisieren und die darin verloren gegangene Balance wieder herstellen. › In das Güllebecken eingehängte, informierte Edelstahlflaschen oder aktive Sender übertragen die eingebrachten Informationen nach dem Prinzip der Resonanz in die sie umgebende Gülle. | <ul style="list-style-type: none"> › gara-Land › AGROenergon. Das Gerät gibt lt. Hersteller „feinste hochpräzise harmonische Schwingungen geringer Feldstärke ab“. | <p>Herstellerangaben:</p> <ul style="list-style-type: none"> › Verminderung von Ätزشäden durch geringeren NH₃-Anteil › höhere Fließfähigkeit ermöglicht schnelles Eindringen in Boden › pH-Wert-Optimierung im Boden › größere Pflanzenvielfalt durch Förderung des Bodenlebens › erhöhte mikrobielle Tätigkeit und erhöhte Nährstoffverfügbarkeit › durch Gülleschwund und geringere Wasserverdünnung weniger Lagerhaltung › Abnahme bis zu gänzlichem Verschwinden der Schwimmschicht › Verringerung der Aufrührzeiten › durch Reduzierung von Ammoniakausgasung deutlich verminderte Geruchsbildung › Einsparungen durch geringere Aufrührzeiten und weniger Ausbringfahrten | <ul style="list-style-type: none"> › Nicht bewiesene Wirksamkeit in Bezug auf NH₃-Abgasung › Der Gülleschwund von 0.36% ist signifikant höher als bei den Kontrollvarianten, was auf eine hohe mikrobielle Tätigkeit rückführbar ist. › Minderung der Geruchsbildung durch vitalisierenden Energieeintrag (Wirkung bereits nach zwei Wochen erkennbar) | <ul style="list-style-type: none"> › Fließverhalten geprüft: Güllezusatzmittelprüfung an der staatl. Lehr- und Versuchsanstalt in Aulendorf, vom 9. April bis 1. Juli 2003 (für die Durchführung der Prüfung verantwortlich: Dipl. Ing.(FH) H.-G. Kunz, Staatliche Lehr- und Versuchsanstalt Aulendorf) › Zürcher (2006) |

6. Literatur

- › aid und KTBL (Hrsg.; 2003): Ammoniak-Emissionen in der Landwirtschaft mindern - Gute fachliche Praxis. aid-Heft Nr. 1454.
- › Amon B., Kryvoruchko V., Amon T. und Moitzi G. (2004): Wirkung des Zusatzstoffes „Effektive Mikroorganismen (EM)“ auf den Umfang von Ammoniak-, Methan- und Lachgasemissionen und auf das Geruchsemissionspotential während der Lagerung von Rinder- und Schweineflüssigmist. Ergebnisbericht, Februar 2004. Auftraggeber: Multikraft GmbH.
- › Amon B., Kryvoruchko V., Fröhlich M. und Amon T. (2005a): Einfluss von „Effektiven Mikroorganismen (EM)“ auf Ammoniak-, Methan- und Lachgasemissionen und auf das Geruchsemissionspotential während der Lagerung von Schweineflüssigmist und -festmist. Endbericht im Auftrag von Multikraft Produktions- und HandelsgmbH, A-4631 Krenglbach.
- › Amon B., Kryvoruchko V., Amon T. und Boxberger J. (2005b): Lagerung von Milchviehflüssigmist: Wirkung der Abdeckung auf NH₃-, N₂O- und CH₄-Emissionen. Agrartechnische Forschung 11 (4) 64-80.
- › Amon B., Kryvoruchko V., Amon T. und Zechmeister-Boltenstern S. (2006): Methane, nitrous oxide and ammonia emissions during storage and after application of dairy cattle slurry and influence of slurry treatment. Agriculture, Ecosystems & Environment, Special Issue "Mitigation of Greenhouse Gas Emissions from Livestock Production" 112 (2-3), 153-162.
- › Blendl H. M. (1985): Quantitative Erfassung geruchsintensiver Stoffgruppen aus Rindergülle nach Anwendung von Güllezusätzen; Deutsch-Österreichisches Güllekolloquium, Gumpenstein.
- › Blum W. E. H., Herbinger B., Mentler A., Ottner F., Pollak M., Unger E., Wenzel W. W. (1989): Zur Verwendung von Gesteinsmehlen in der Landwirtschaft. II. Wirkung von Gesteinsmehlen als Bodenverbesserungsmittel. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde, 152 (5), 427–430.
- › Buchgraber K. und Resch R. (1993): Güllebehandlungsmittel Penac G, Praktische Landtechnik, Bundesverband Oesterreichischer Maschinen- und Betriebshilferinge Wien: Oesterreichischer Agrarverlag 46 (7/8), 6–7.
- › Buchgraber K. und Resch R. (1997): Einfluss unterschiedlicher Güllebehandlungsverfahren auf chemische und physikalische Eigenschaften sowie auf den Geruch von Rindergülle. Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft, Gumpenstein, 1-25.
- › Dewes T. (1987): Untersuchungen zur Fermentation von Rindergülle unter besonderer Berücksichtigung des Zuschlagstoffes Agriben; Diss., Univ. Giessen.
- › Döhler H., Dämmgen U., Eurich-Menden B., Osterburg B., Lüttich M., Berg W., Bergschmidt A., Brunsch R. (2002): Anpassung der deutschen Methodik zur rechnerischen Emissionsermittlung an internationale Richtlinien sowie Erfassung und Prognose der Ammoniak-Emissionen der deutschen Landwirtschaft und Szenarien zu deren Minderung bis zum Jahre 2010. UBA-Texte 05/02
- › Eder G. und Sobotik M. (1985): Prüfung des Güllezusatzmittels Almisan; Deutsch-Österreichisches Güllekolloquium, Gumpenstein.
- › Elsässer M. und Kunz H.G. (1988): Auswirkungen unterschiedlicher Düngung auf Dauergrünland im Vergleich von konventioneller mit biologischer Bewirtschaftung. Das wirtschaftseigene Futter 34, 107-116.
- › Elsässer M. und Kunz H.G. (1988): Zur Wirkung von Gülle mit und ohne Zusatzmittel auf Ertrag, Futterqualität und botanische Zusammensetzung einer Wiese im Alpenvorland. Das wirtschaftseigene Futter 34, 48-65.
- › Elsässer M., Kunz H.G. und Briemle G. (1995): Unterschiedliche technische Behandlung von Gülle und deren Auswirkungen auf intensiv genutztes Dauergrünland. Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau 174, 253-264.

- › Elsässer M., Kunz H.G. und Briemle G. (1998): Wirkungen organischer und mineralischer Düngung auf Dauergrünland - Ergebnisse eines 12jährigen Düngungsversuches auf Wiese und Mähweide. Pflanzenbauwissenschaften 2 (2), 49-57.
- › Elsässer M., Kunz H.G. und Briemle G. (2008): Strategy of organic fertilizer use on permanent grassland – results of a 22-year-old experiment on meadow and mowing-pasture.- Poster presented at: 22nd General Meeting of the European Grassland Federation Uppsala, Sweden 9-12 June 2008.
- › Felgener G., Faber W. und Kemmerling W. (1993): Güllereinigung mit Braunkohle schließt Stoffkreisläufe. In: "Umweltverträgliche Güllaufbereitung", Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL), Darmstadt.
- › Furlan H. (1985): Kann durch Güllezusatz die Entartung des Grünlandes verhindert werden? Deutsch-Österreichisches Güllekolloquium, Gumpenstein.
- › Frick R. und Menzi H. (1997): Hofdüngeranwendung: Wie Ammoniakverluste vermindern? Auch einfache Massnahmen wirken. FAT-Berichte 496, 12 S.
- › Gautschi H. und Jäggi W. (1978): Versuche zur Förderung der Nitrifikation von Rindergülle, Mitteilungen für die Schweizerische Landwirtschaft.
- › Gerber S. (2003): Güllaufbereitung – Einsatz von Güllezusätzen in der Praxis. Strickhof Beratungsdienst. www.strickhof.ch
- › Grünig K. (2004): Wenn die Wissenschaft keine Erklärung hat. „Die Grüne“ 12/2004, 38-41.
- › Hersener J.-L., Meier U. und Dinkel F. (2002): Ammoniakemissionen aus Gülle und deren Minderungsmaßnahmen unter besonderer Berücksichtigung der Vergärung. Im Auftrag des Amt für Umweltschutz Kanton Luzern und in Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Energie (BFE), Schlussbericht, April 2002.
- › Kempkens H. (1998): Biogas – ein zweites Standbein für Landwirte? Milchpraxis, 36 (1)
- › KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.) (1995): Umweltverträgliche Güllaufbereitung, Zusammenfassung der Beiträge des BMBF- Förderschwerpunktes "Umweltverträgliche Güllaufbereitung und -verwertung", Darmstadt.
- › Kunz H.G. (1985): Gülle auf Altnarbe und Neuansaat, Mitteilungen der DLG 7/1985.
- › Kunz H.G. (1996): Güllezusatzstoffe – mehr als fauler Zauber? Top Agrar 5/1996, 64-66.
- › Kunz H.G. und Federer G. (1999): Güllezusatzmittel. AGFF Information Merkblatt D3 1999, 4 S.
- › Leinker M. (2007): Entwicklung einer Prinziplösung zur Senkung von Ammoniakemissionen aus Nutztierställen mit Hilfe von Ureaseinhibitoren. Dissertation Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg Halle/Saale. urn:nbn:de:gbv:3-000012809. [<http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn=nbn%3Ade%3Agbv%3A3-000012809>].
- › LfL (Hrsg.; 2008) –Information: Biogas - Einsatz von Gärresten aus der Biogasproduktion als Düngemittel. Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz, Internet: <http://www.LfL.bayern.de>, Sept. 2008
- › LVVG Aulendorf, Tätigkeitsberichte 2003 bis 2004 und 1997 bis 1998.
- › McCrory D.F. und Hobbs P.J. (2001): Additives to reduce Ammonia an Odor Emissions from Livestock wastes: A Review. J. Environ. Qual. 30, 345-355.
- › Meier U. (1994): Güllenseparierung, eine Technik zur Verbesserung der Gülleneigenschaften. Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik, Agroscope FAT Tänikon, FAT-Berichte Nr. 445, 1-11.
- › Mokry M. (2005): Ein besseres Stallklima ; Schonung für die Wurzeln. Bayer. Landw. Wochenblatt 37/2005.
- › Pflug C. und Straub A. (2007): Gerüche in der Landluft binden. Minderung von Gerüchen aus Gülle durch Einsatz von Braunkohlestaub. wlb Wasser, Luft und Boden, Jg.: 51 (7/8), ISSN: 0938-8303, 39-41.

- › Schechtner G., (1993): Wirksamkeit von Güllezusätzen hinsichtlich Verbesserung der Düngewirkung der Gülle auf Grünland. Veröffentlichungen der Bundesanstalt für Alpenländische Landwirtschaft. Gumpenstein, Heft 18, 1-82.
- › Schröpel R. (1985): Bayerische Erfahrungen mit Güllezusätzen; Deutsch-Österreichisches Güllekolloquium, Gumpenstein.
- › Schröpel R. (1998): Quarzmehl mit und ohne, Bayer. Landw. Wochenblatt 20/1998, 4-7.
- › Schröpel R. (2002): Untersuchungen über die Fließfähigkeit von Gülle, 46. Jahrestagung der AGGF in Rostock 2002.
- › Schröpel R. (2004): Die Fließfähigkeit der Gülle. Spitalhofberichte, 36-39.
- › Schröpel R. (2006): Berichte und Versuchsergebnisse, 4. Ausgabe 2006.
- › Schröpel R. (2007): Güllezusätze im Praxistest. Bayer. Landw. Wochenblatt, Beilage „Unser Allgäu“, 3/2007, 2-3.
- › Schürer E. (2000): Verdünnung der Gülle. Eine wirksame Maßnahme zur Minderung von Emissionen? Landtechnik 55, 126-127.
- › Schröpel R. und G. Henkelmann (2006): Untersuchungen zur Wirkung verschiedener Präparate auf Rindergülle. In: „Die Zukunft von Praxis und Forschung in Grünland und Futterbau“ 50. Jahrestagung der AGGF in Straubing, LfL Schriftenreihe 17/2006, ISSN 1611-4159, 77-80.
- › Somitsch W., Wenzl W., Pilch Ch., Gilhofer A. (2008): Behandlung von Gülle mit bioaktiven Additiven in einem Flachbett-Bioreaktor. Abschlussbericht des Forschungsprojektes Nr: 100333/4, www.dafne.at
- › Sommer S. G., Christensen B. T., Nielsen N. E. und Schjørring J. K. (1993): Ammonia volatilization during storage of cattle and pig slurry : effect of surface cover. Journal of Agricultural Science 121 (1), 63-71.
- › UN-ECE/EB (2007): Leitfaden über Techniken zur Vermeidung und Verringerung von Ammoniakemissionen. Vereinte Nationen, Wirtschafts- und Sozialrat. AIR/WG.5/2007/13, 16. Juli 2007.
- › Wendland, M. (2009): Biogasgärreste - Einsatz von Gärresten aus der Biogasproduktion als Düngemittel. Biogasforum, Arbeitsgruppe 1, LfL Publikationen Nr. I – 3/2009.
- › Zähler M., Keck M. und Hilty R (2005): Ammoniak-Emissionen von Rindviehställen - Minderung beim Bau und Management. FAT-Berichte, Nr. 641, Agroscope FAT Tänikon, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik.
- › Zürcher F. (2004): Möglichkeiten zur Minderung der Ammoniakverluste aus der Landwirtschaft. TECAT-Informationstag Ammoniak: Emissionen, Auswirkung auf die Umwelt, Messtechnik, EMPA, 12. November 2004
- › Zürcher F. (2006): Physikalische Güllebehandlung und Stickstoff-Verfügbarkeit. Interner Bericht Amt für Umwelt Appenzell Ausserrhoden, Juli 2006
- › Zürcher F. (2009): Flüssige Hofdünger - Behandlungsverfahren und Zusätze. Interner Bericht Amt für Umwelt Appenzell Ausserrhoden, März 2009