

Ammoniakemissionen in der Landwirtschaft mindern

Gute Fachliche Praxis



Für Mensch & Umwelt

KTBL

Umwelt 
Bundesamt

Impressum

Herausgeber:

Umweltbundesamt
Fachgebiet II 4.3 Luftreinhaltung und terrestrische
Ökosysteme
Postfach 14 06
06813 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
buergerservice@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt.de
 /umweltbundesamt
 /umweltbundesamt
 /umweltbundesamt

Mitherausgeber:

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der
Landwirtschaft e.V. (KTBL)
Bartningstraße 49
64289 Darmstadt
Tel: +49 6151-7001-0
Internet: www.ktbl.de

Redaktion:

Simone Richter, Gabriele Borghardt (Umweltbundesamt)
Sebastian Wulf, Brigitte Eurich-Menden (Kuratorium für
Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.)

Satz und Layout:

le-tex publishing services GmbH

Publikationen als pdf:

www.umweltbundesamt.de/publikationen
www.ktbl.de/themen

Bildquellen:

Titel: Adobe Stock/keBu.Medien

Stand: September 2021

ISSN 2363-8311

ISSN 2363-832X

Autoren:

Prof. UZ, Dr. Barbara Amon, Leibniz Institut für
Agrartechnik und Bioökonomie, Potsdam und Universität
Zielona Góra, Polen
Dr. Gabriele Borghardt, Umweltbundesamt, Dessau
Prof. Dr. Wolfgang Büscher, Rheinische Friedrich-Wilhelms-
Universität, Bonn
Doris Düsing, Landkreis Cloppenburg, Cloppenburg
Kerstin Elberskirch, Staatliches Amt für Landwirtschaft
und Umwelt Mecklenburgische Seenplatte,
Neubrandenburg
Dr. Brigitte Eurich-Menden, Kuratorium für Technik und
Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., Darmstadt
Frank Geburek, Kreis Coesfeld, Coesfeld
Dr. Jochen Hahne, Thünen-Institut für Agrartechnologie,
Braunschweig
Prof. Dr. Eberhard Hartung, Christian-Albrechts-Universität
zu Kiel, Kiel
Maximilian Hofmeier, Umweltbundesamt, Dessau
Dr. Hans-Heinrich Kowalewsky, Rastede
Dr. Stefan Naser, Bayerische Landesanstalt für
Landwirtschaft, Freising
Prof. Dr. Wilhelm Pflanz, Hochschule Weihenstephan-
Triesdorf, Weidenbach
Dr. Martin Pries, Landwirtschaftskammer Nordrhein-
Westfalen, Kleve
Simone Richter, Umweltbundesamt, Dessau
Prof. Dr. Urs Schmidhalter, Technische Universität
München, Freising
apl.Prof. Dr. Lars Schrader, Friedrich-Loeffler-Institut, Celle
Prof. Dr. Hubert Spiekers, Bayerische Landesanstalt für
Landwirtschaft, Grub
Dr. Gerhard Stalljohann, Landwirtschaftskammer
Nordrhein-Westfalen, Bad Sassendorf
Dr. Sebastian Wulf, Kuratorium für Technik und Bauwesen
in der Landwirtschaft e.V., Darmstadt

Ammoniakemissionen in der Landwirtschaft mindern

Gute Fachliche Praxis



Inhalt

Vorwort	6
Definition der „Guten Fachliche Praxis“ (GFP) zur Minderung der Ammoniakemissionen	7
1 Ammoniak in der Umwelt und im landwirtschaftlichen Betrieb	8
1.1 Ammoniakwirkungen und Ziele der Emissionsminderung	8
1.2 Quellen für Ammoniak in der Landwirtschaft	10
1.3 Ammoniakentstehung und Freisetzung	11
2 Futter und Fütterung von Nutztieren	14
2.1 Allgemeine Grundsätze	14
2.1.1 Futter und Futterkonservierung	14
2.1.2 N-Ausscheidung in Abhängigkeit von Fütterung und Leistung	15
2.2 Minderungsmaßnahmen	17
2.2.1 Rinderhaltung	17
2.2.2 Schweinehaltung	19
2.2.3 Geflügelhaltung	21
2.2.4 Weitere Nutztiere	21
2.3 Umsetzung, Beratung und Controlling	21
2.4 Gute Fachliche Praxis im Bereich Futter und Fütterung	23
3 Minderungsmaßnahmen im Stall	24
3.1 Allgemeine Grundsätze	24
3.2 Verfahrensintegrierte Maßnahmen im Stall	25
3.2.1 Rinderhaltung	25
3.2.2 Schweinehaltung	28
3.2.3 Geflügelhaltung	32
3.3 Abluftreinigung	33
3.4 Ansäuerung von Gülle im Stall – Rind und Schwein	34
3.5 Gute Fachliche Praxis im Haltungsbereich	35
4 Maßnahmen bei der Lagerung von Wirtschaftsdüngern	36
4.1 Allgemeine Grundsätze	36
4.2 Minderungsmaßnahmen bei der Lagerung	36
4.2.1 Flüssige Wirtschaftsdünger	36
4.2.2 Feste Wirtschaftsdünger	38
4.3 Gute Fachliche Praxis bei der Lagerung von Wirtschaftsdüngern	39

5 Emissionsarme Ausbringung von Wirtschaftsdüngern	40
5.1 Allgemeine Grundsätze	40
5.2 Minderungsmaßnahmen bei der Ausbringung	41
5.2.1 Ausbringung flüssiger Wirtschaftsdünger	41
5.2.2 Ausbringung fester Wirtschaftsdünger	45
5.3 Gute Fachliche Praxis bei der Ausbringung	45
6 Emissionsarme Anwendung von synthetischen Düngemitteln	46
6.1 Allgemeine Grundsätze	46
6.2 Minderungsmaßnahmen bei der Anwendung	46
6.2.1 Harnstoffdüngemittel	46
6.2.2 Andere synthetische Düngemittel	47
6.3 Gute Fachliche Praxis bei der Anwendung synthetischer Düngemittel	47
7 Besondere Aspekte der Biogaserzeugung	48
7.1 Allgemeine Grundsätze	48
7.2 Minderungsmaßnahmen bei der Biogaserzeugung	49
7.3 Gute Fachliche Praxis in der Biogaserzeugung	49
8 Steigerung der Stickstoffeffizienz	50
8.1 Einzelbetriebliches Nährstoffmanagement	50
8.2 Aufbereitung von Wirtschaftsdüngern	51
9 Rechtlicher Hintergrund	52
9.1 Internationale Vereinbarungen im flächenbezogenen Umweltschutz	52
9.2 Anlagenbezogener Immissionsschutz	52
Tabellenverzeichnis	54
Abbildungsverzeichnis	55
Glossar Gute Fachliche Praxis Ammoniakemissionsminderung	56
Literaturverzeichnis	57

Vorwort

Wird Ammoniak einmal in die Umwelt eingetragen, breitet es sich in der Luft aus und reagiert mit anderen Luftschadstoffen. Ammoniak selbst und die entstehenden Umwandlungsprodukte können die menschliche Gesundheit gefährden und Pflanzen sowie Ökosysteme schädigen. Der Hauptanteil der Ammoniakemissionen entstammt der Landwirtschaft, mit einem wesentlichen Beitrag aus der Nutztierhaltung.

Die negativen Wirkungen von Ammoniak treten nicht nur in der Nähe der Emissionsquelle auf, denn die Schadstoffe können auch luftgetragen über große Entfernungen transportiert werden. Deshalb werden Minderungsziele und Handlungsanforderungen auf internationaler Ebene festgelegt. Im Rahmen dieser Abkommen und Richtlinien verpflichten sich die einzelnen Staaten, Maßnahmen zur Minderung der Emissionen zu ergreifen.

Die Europäische Union und andere Vertragsparteien der Genfer Luftreinhaltekonvention haben langfristige Minderungsziele für bestimmte Luftschadstoffe beschlossen. Zur Umsetzung dieser Reduktionsziele in der Europäischen Union wurden in der „Richtlinie über nationale Emissionshöchstmengen“ Emissionsminderungsverpflichtungen für die Mitgliedstaaten verabschiedet. In Deutschland müssen demnach bis 2030 die Ammoniakemissionen im Vergleich zum Jahr 2005 um 29 % reduziert werden.

Um die genannten Minderungsverpflichtungen erreichen zu können, sollen in den landwirtschaftlichen Betrieben emissionsmindernde Maßnahmen und Verfahren eingesetzt werden, die mindestens der Guten Fachlichen Praxis entsprechen. Dies gilt für alle Betriebsgrößen – auch wenn bei der Genehmigung unterschiedliche Anforderungen für große Tierhaltungsanlagen und kleinere tierhaltende Betriebe bestehen.

Im Rahmen der internationalen Vereinbarungen hat sich Deutschland verpflichtet, Empfehlungen für die Gute Fachliche Praxis zur Ammoniakminderung zu veröffentlichen, die in Tierhaltungsanlagen unterschiedlicher Größe umgesetzt werden können. Grundlagen solcher Empfehlungen sind die Leitlinien der Genfer Luftreinhaltekonvention, des sogenannten

Framework Code for Good Agricultural Practice for Reducing Ammonia Emissions. Darüber hinaus sind Anforderungen, die sich aus der europäischen Richtlinie über Industrieemissionen ergeben in den *Schlussfolgerungen zu den Besten Verfügbaren Techniken* festgehalten.

Deshalb werden im Folgenden die für die Haltung von Rindern, Schweinen und Geflügel in die Praxis eingeführten Techniken und Maßnahmen vorgestellt und beschrieben, die zur Ammoniakminderung beitragen. Entlang der landwirtschaftlichen Produktionskette werden die Bereiche Futter und Fütterung, Stall, Lagerung und Ausbringung von Wirtschaftsdüngern sowie die Anwendung synthetischer Düngemittel betrachtet.

Bei der Umsetzung bzw. Auswahl von Maßnahmen sind die Voraussetzungen und Möglichkeiten des Einzelbetriebs zu beachten. Die vorliegende Darstellung zur Guten Fachlichen Praxis soll hierzu eine Hilfestellung und Handlungsempfehlung sein. Sie ist in Kooperation mit Experten aus Wissenschaft, Verwaltung, Behörden und Landwirtschaft entstanden.

Beschrieben werden auch Maßnahmen, die ein emissionsminderndes Potenzial haben, die aber noch nicht abschließend als Gute Fachliche Praxis empfohlen werden können, da sie sich noch in der Entwicklung befinden, noch nicht weit verbreitet sind oder derzeit noch auf ihre emissionsmindernde Wirkung unter Praxisbedingungen in Deutschland untersucht werden.

Bei der Auswahl der Maßnahmen wurde berücksichtigt, dass Nutztiere unter der Beachtung des Tierschutzgesetzes zu halten sind. Neben emissionsmindernden Maßnahmen sind die biologischen und verhaltensspezifischen Anforderungen der Tiere an die Haltungsumwelt sowie die Seuchenhygiene zu beachten.

Maßnahmen zur Reduzierung von Ammoniakemissionen und ein gutes Stickstoffmanagement sind in jedem Betrieb realisierbar. Hierdurch werden nicht nur schädliche Einflüsse auf die Umwelt vermindert, sondern durch die verbesserte Stickstoffeffizienz auch Düngemittel eingespart.

Definition der „Guten Fachliche Praxis“ (GFP) zur Minderung der Ammoniakemissionen

Die Empfehlungen zur Guten Fachlichen Praxis wurden von Experten zusammengestellt, um Landwirten, Beratern, Lehrenden, Behörden, Verbrauchern und Politikern anhand des aktuellen Standes des Wissens zu zeigen, welche baulichen, technischen und Managementmaßnahmen zur Minderung von Ammoniakemissionen in der Nutztierhaltung eingesetzt werden können.

Die in den folgenden Kapiteln dargestellten Maßnahmen verdeutlichen, wie sachgerechtes von weniger oder nicht sachgerechtem Handeln unterschieden werden kann. Die Empfehlungen erfüllen mindestens den Stand der Technik und gehen teilweise darüber hinaus. Sie haben keinen rechtlich verbindlichen Charakter.

Der Begriff „Gute Fachliche Praxis der Ammoniakminderung“ in der Landwirtschaft umfasst ein Bündel an Maßnahmen, die folgende Voraussetzungen erfüllen:

- ▶ sie vermindern Emissionen, erhöhen die N-Effizienz und tragen zu einem höherem Schutzniveau für die Umwelt insgesamt bei

- ▶ sie sind in der Praxis erprobt, geeignet und für den Landwirt anwendbar
- ▶ ihre Wirkung ist in der Wissenschaft nachgewiesen

Bei der Umsetzung

- ▶ soll die Verhältnismäßigkeit zwischen Aufwand und Nutzen möglicher Maßnahmen berücksichtigt werden
- ▶ sollen Minderungsmaßnahmen für alle Stufen der Verfahrenskette (Futter bzw. Gärsubstrat, Fütterung, Stallhaltung, Dunglagerung und Ausbringung) ergriffen werden

Maßnahmen zur Guten Fachlichen Praxis der Ammoniakminderung lassen sich in allen landwirtschaftlichen Betrieben anwenden. Art und Umfang möglicher Maßnahmen hängen von den betrieblichen, baulichen und standörtlichen Gegebenheiten eines jeden Betriebes ab.

1 Ammoniak in der Umwelt und im landwirtschaftlichen Betrieb

1.1 Ammoniakwirkungen und Ziele der Emissionsminderung

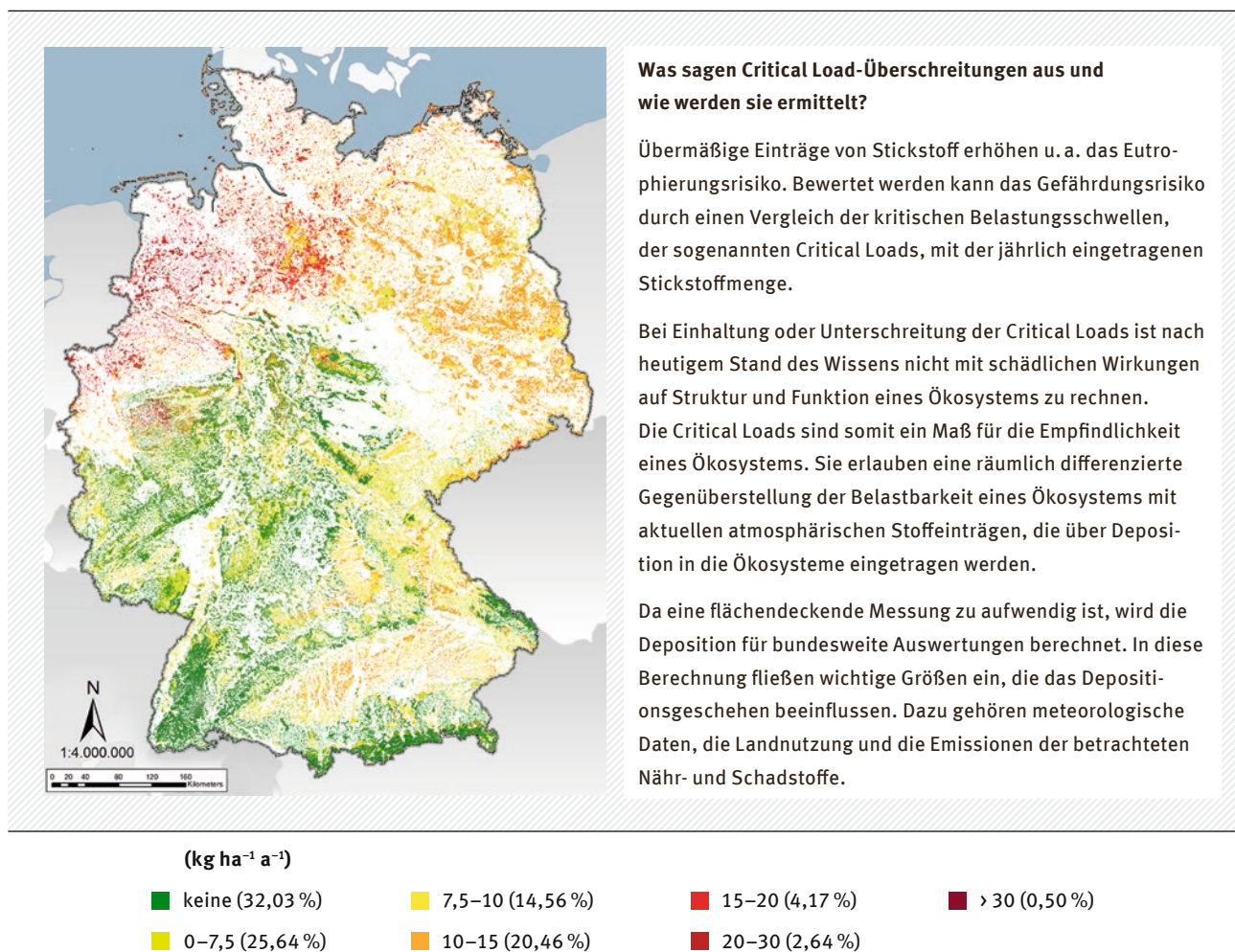
Die Minderung von Ammoniakemissionen hat nicht nur positive Effekte für die Umwelt und die menschliche Gesundheit, sondern vermindert auch die Verluste an düngewirksamen Stickstoff. Eine verbesserte Stickstoffausnutzung trägt außerdem zum Schutz der Ressourcen bei und senkt die Kosten für den Zukauf von Düngemitteln, da der Stickstoff im Betrieb verbleibt.

Ist Ammoniak (NH_3) einmal freigesetzt, breitet es sich in der Luft aus und reagiert schnell mit anderen Luftschadstoffen. Ammoniak selbst und die in der Luft gebildeten Umwandlungsprodukte gefährden die Gesundheit und schädigen Pflanzen und Ökosysteme.

Ammoniak bildet in der Atmosphäre in Verbindung mit Stickstoffoxiden und Sulfat Ammoniumsalze, sogenannte „sekundäre Partikel“, die wesentlich zur Feinstaubbildung der Luft beitragen. Die winzigen Staubpartikel können Entzündungen im Atemtrakt verursachen, allergische Atemwegserkrankungen

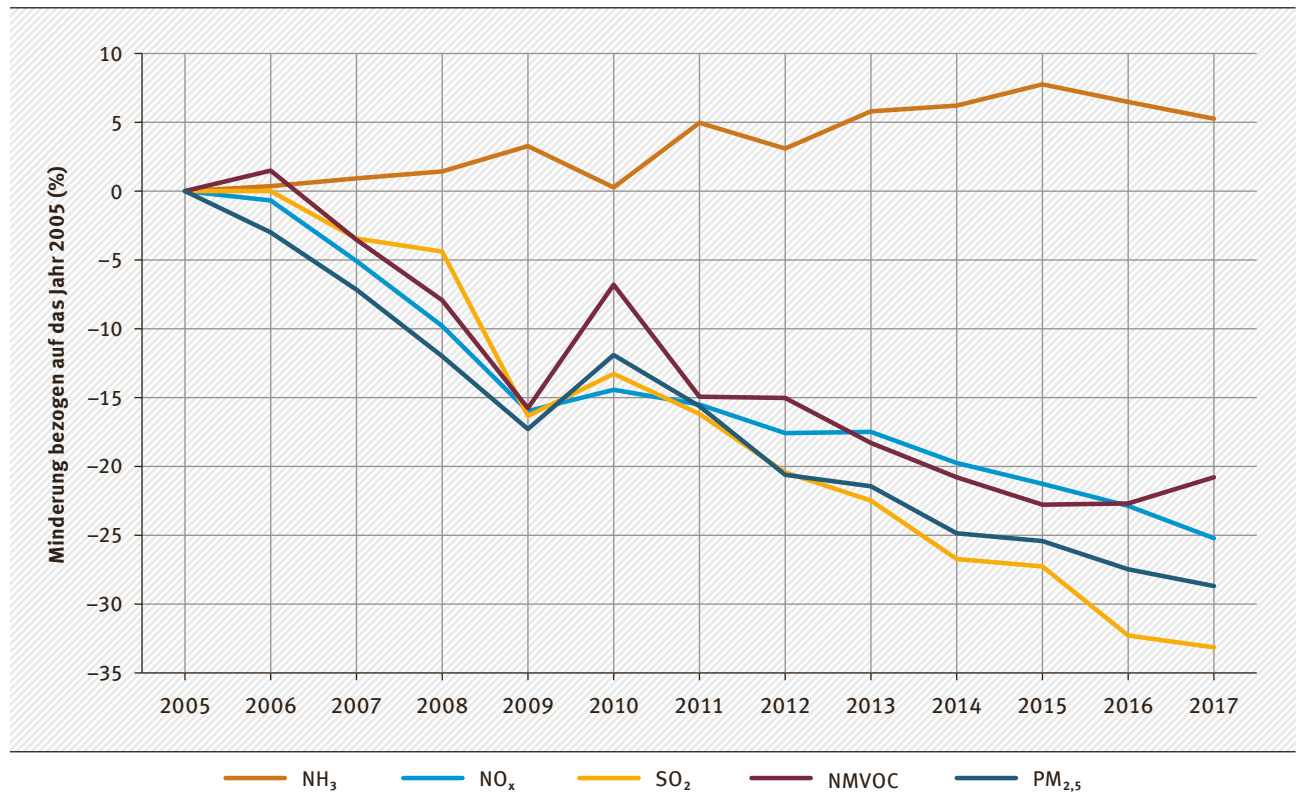
Abbildung 1

Gebiete mit Überschreitung des Critical Load für Eutrophierung durch Stickstoffeinträge im Jahr 2015



Quelle: Schaap et al. 2018

Abbildung 2

Entwicklung der Emission wichtiger Luftschadstoffe von 2005 bis 2017

Quelle: Daten aus UBA 2019

verstärken und am Entstehen von chronischen Lungenerkrankungen und Herz-Kreislauferkrankungen beteiligt sein.

Freigesetztes Ammoniak wird nach einem längeren oder kürzeren luftgetragenen Transport wieder auf landwirtschaftliche Flächen und in andere Ökosysteme eingetragen. In beiden Fällen werden die Flächen mit Stickstoff gedüngt. In natürlichen stickstoffarmen Ökosystemen kann dies zur Eutrophierung – also einer unerwünschten Nährstoffanreicherung – und zur Versauerung führen. Beide Prozesse können Veränderungen der Artenvielfalt und der Artenzusammensetzungen natürlicher und naturnaher Ökosysteme bewirken. Dies vermindert deren Stabilität und Widerstandsfähigkeit gegenüber anderen Stressfaktoren wie Trockenheit, Frost oder Krankheiten.

Einer Studie des Umweltbundesamtes (UBA 2018) zufolge waren im Jahr 2015 in Deutschland ca. 26 % der Flächen empfindlicher Landökosysteme von einem erhöhten Versauerungsrisiko betroffen. Der Anteil von durch Stickstoff verursachter Überdün-

gung lag bei 68 % aller naturnahen terrestrischen Ökosysteme (Abbildung 1). Gegenüber dem Jahr 2000, in dem noch 57 % dieser Flächen von Versauerung und 79 % von Überdüngung betroffen waren, ist dies zwar ein positiver Rückgang, die langjährigen Belastungen sind aber weiterhin eine Gefahr für die Ökosysteme.

Die Sorge um die durch Ammoniak verursachten Umwelt- und Gesundheitswirkungen hat dazu geführt, dass internationale Abkommen zur Minderung dieses Luftschadstoffes abgeschlossen wurden. Hierzu gehört die europäische Richtlinie über die Reduktion der nationalen Emissionen bestimmter Luftschadstoffe (kurz: NEC-Richtlinie). Diese sieht für Deutschland bis 2030 eine Minderung der Ammoniakemissionen von 29 % gegenüber dem Jahr 2005 vor. Um diese Emissionsminderung zu erreichen, müssen im landwirtschaftlichen Sektor Maßnahmen ergriffen werden. Größere, immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftige Tierhaltungsanlagen sind verpflichtet den Stand der Technik zur Emissionsminderung einzuhalten bzw. die Besten Verfügbaren

Techniken (BVT) einzusetzen. Darüber hinaus sollten in allen landwirtschaftlichen Betrieben die Empfehlungen zur Guten Fachlichen Praxis beachtet werden.

Die Emissionen wichtiger anthropogen verursachter Luftschadstoffe sind seit 2005 zurückgegangen, die von Ammoniak sind im gleichen Zeitraum hingegen leicht angestiegen (Abbildung 2). Maßnahmen zur Minderung dieser Emissionen sind daher dringend erforderlich.

1.2 Quellen für Ammoniak in der Landwirtschaft

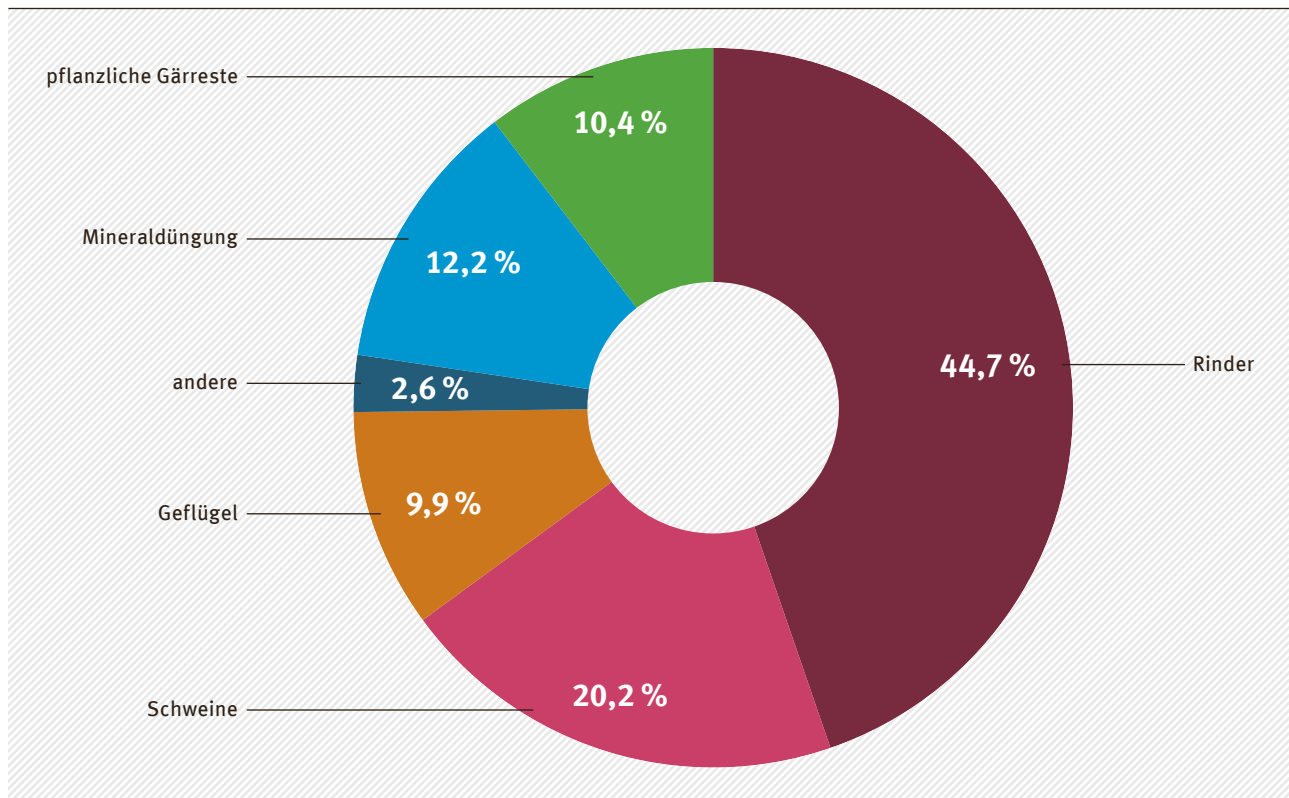
Ammoniakemissionen treten vor allem in der Nutztierhaltung auf, aber auch der Einsatz von Mineraldüngern hat mit ca. 12 % (Rösemann et al. 2021) in Deutschland einen bedeutenden Anteil an den landwirtschaftlichen Emissionen (Abbil-

dung 3). Mit dem Einsatz von Energiepflanzen in der Biogaserzeugung ist auch diese zu einer bedeutenden Quelle von NH_3 -Emissionen geworden. Emissionen entstehen hier im Wesentlichen bei der Verwertung der Gärreste, die ein ähnliches Emissionsverhalten wie Gülle aufweisen.

In der Nutztierhaltung gibt es verschiedene Quellen, die in unterschiedlicher Höhe zu den Emissionen beitragen (Abbildung 4). So entstehen in der Schweinehaltung zwei Drittel der Emissionen im Stall, während es in der Rinderhaltung nur ein Drittel ist. In der Rinderhaltung hingegen sind die Emissionen bei der Ausbringung der Gülle am größten. Die Emissionen aus der Lagerung von Wirtschaftsdüngern sind in allen Tierkategorien geringer als die Emissionen aus dem Stall oder bei der Ausbringung.

Abbildung 3

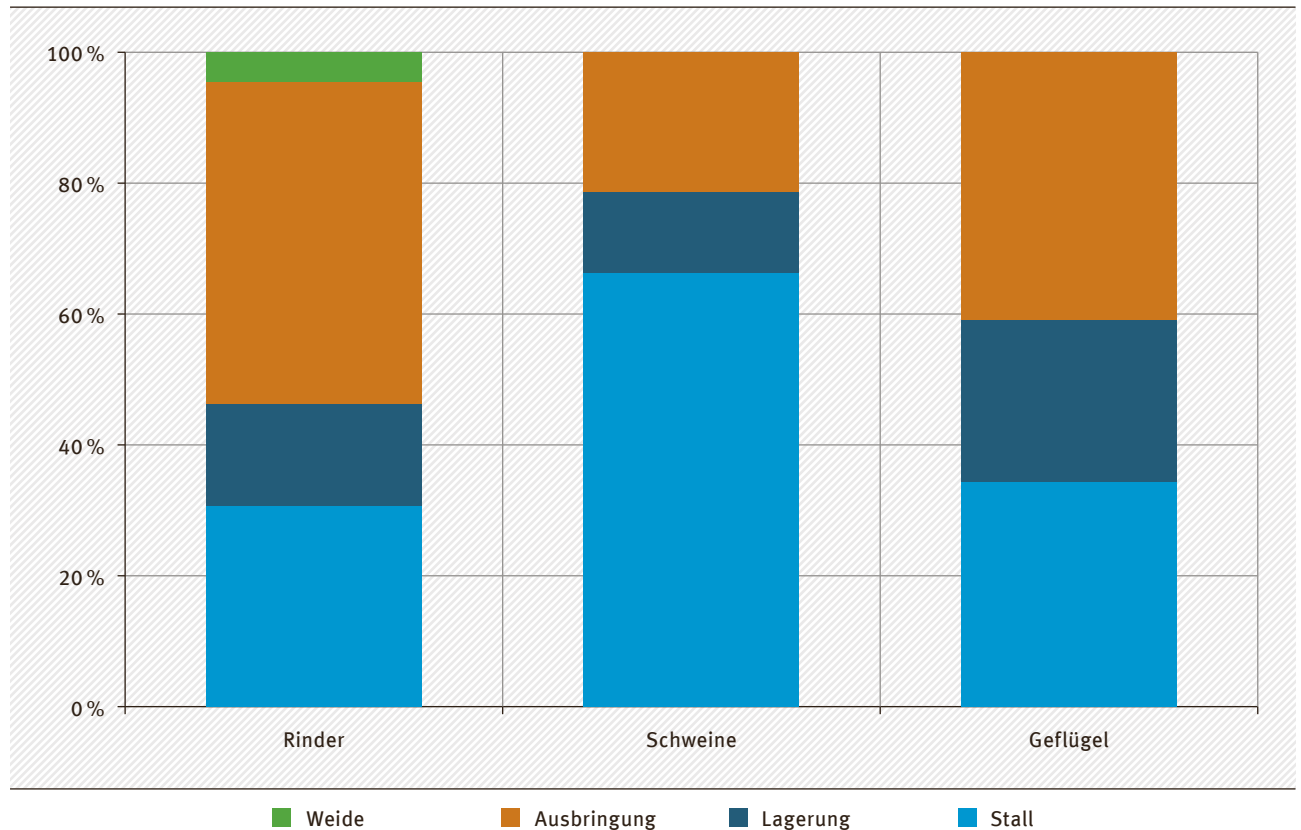
Prozentuale Verteilung der Ammoniakemissionen auf die verschiedenen Tierkategorien, Gärreste aus Energiepflanzen und Mineraldüngung für das Jahr 2019



Quelle: Daten aus Rösemann et al. 2021

Abbildung 4

Prozentuale Verteilung der Ammoniakemissionen aus verschiedenen Quellen der Haltung von Rindern, Schweinen und Geflügel für das Jahr 2019



Quelle: Daten aus Rösemann et al. 2021

Generell gilt: Emissionen können nur effizient gemindert werden, wenn Maßnahmen in allen Schritten des Wirtschaftsdüngeranfalls und -managements ergriffen werden. Durch die Reduzierung von Emissionen im Stall oder bei der Lagerung, verbleibt mehr Ammoniumstickstoff in der Gülle. Wird die Gülle danach nicht mit emissionsmindernder Technik ausgebracht, wird ein beträchtlicher Teil der so eingesparten Emissionen bei der Ausbringung freigesetzt.

1.3 Ammoniakentstehung und Freisetzung

Stickstoffumwandlung

Stickstoff ist gemeinsam mit anderen Nährstoffen essenziell für das Wachstum von Pflanzen und Tieren. Um in der Landwirtschaft optimale Erträge und Qualitäten zu erzielen, muss er in ausreichenden Mengen zur Verfügung stehen. In Gülle, Festmist und

Gärresten liegt Stickstoff entweder pflanzenverfügbar, zum größten Teil als Ammonium (NH_4^+), oder in organischer Substanz gebunden vor.

Der organische Anteil des Stickstoffs wird über einen längeren Zeitraum hinweg durch Mikroorganismen teilweise umgesetzt und in Ammonium überführt. Ammonium wird von Pflanzen aufgenommen oder durch Mikroorganismen weiter zu Nitrat umgesetzt, das auch dem Pflanzenwachstum dient. Weitere Umwandlungsprodukte sind Lachgas (N_2O) und Luftstickstoff (N_2). Stickstoff, der nicht als Nährstoff von Pflanzen aufgenommen oder in organischer Bodensubstanz gespeichert wird, kann auf verschiedenen Pfaden die Umwelt belasten: Ammoniak wirkt als Luftschadstoff, überschüssiges Nitrat belastet das Grundwasser und Lachgas trägt als Treibhausgas zum Klimawandel bei.

Ammoniakbildung durch Harnstoffspaltung

Der größte Teil des freigesetzten Ammoniaks stammt aus dem von Tieren mit dem Harn ausgeschiedenen Harnstoff. Bei Geflügel ist es die im Kot enthaltene Harnsäure. Diese Stickstoffverbindungen werden durch das von Mikroorganismen produzierte Enzym Urease zu Ammoniak abgebaut.

Eine rasche Spaltung des Harnstoffs erfolgt, wenn Harnstoff mit Wasser und mit Oberflächen in Kontakt kommt, die schon einmal mit Kot oder einem Kot-Harngemisch verschmutzt waren. Hier ist bereits Urease vorhanden und die Harnstoffspaltung kann unmittelbar erfolgen.

Lösungsgleichgewicht

In Wirtschaftsdüngern liegt gelöstes Ammoniak in einem Gleichgewicht mit Ammonium vor. Mit steigendem pH-Wert und steigender Temperatur nimmt der gelöste Ammoniakanteil zu (Abbildung 5). Während sich NH_4^+ als Ion gut in Wasser löst, ist NH_3 ein Gas mit geringerer Löslichkeit, das über die Oberfläche der Gülle in die umgebende Luft rasch freigesetzt wird.

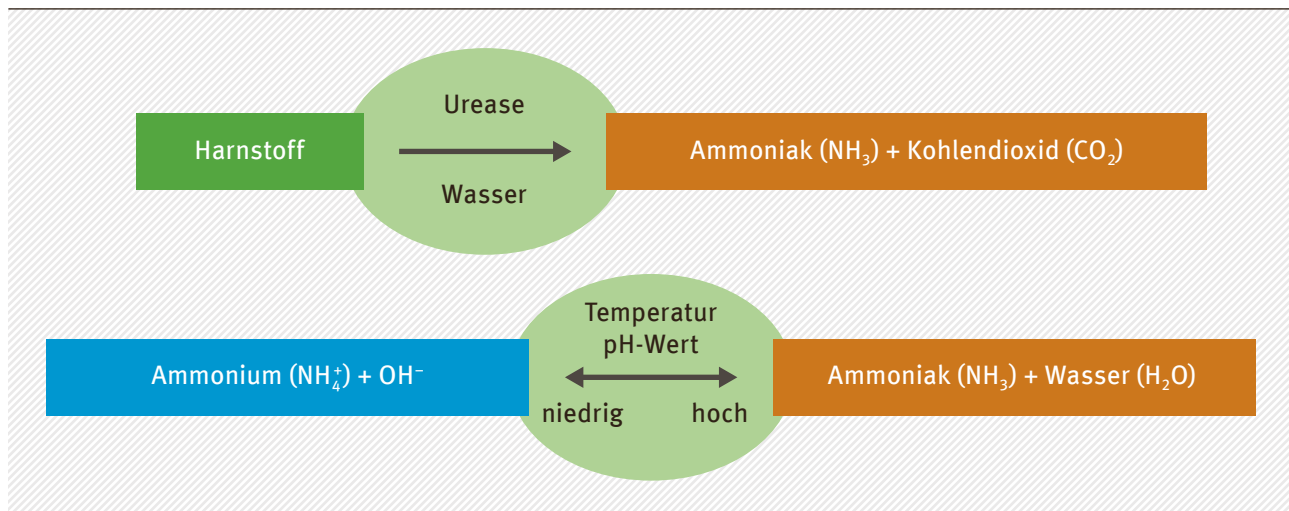
Wird gelöstes Ammoniak freigesetzt, verringert sich die Menge an NH_3 in diesem Gleichgewicht. Das Gleichgewicht stellt sich neu ein, bis kein Ammonium mehr in der Lösung vorhanden ist.

Ammoniakfreisetzung

Auch der Übergang von im Wirtschaftsdünger gelöstem NH_3 zu gasförmigem NH_3 , das freigesetzt wird, ist von einem Gleichgewicht bestimmt. Ammoniak wird durch Luftströmung von Oberflächen wegtransportiert. Dadurch verringert sich die Ammoniakkonzentration an der Oberfläche. Dies führt dazu, dass mehr gelöstes NH_3 nachgeliefert und gasförmig freigesetzt wird. Jede Reduzierung des Luftaustauschs über der Oberfläche des Wirtschaftsdüngers verringert somit die Emissionen (Abbildung 6). Bei der Ausbringung sind Emissionen umso geringer, je niedriger der Trockenmassegehalt ist, da der Wirtschaftsdünger dann besser in den Boden infiltrieren kann.

Abbildung 5

Ammoniakbildung und Lösungsgleichgewicht zwischen Ammonium und gelöstem Ammoniak



Quelle: eigene Darstellung, KTBL 2021

Abbildung 6

Steuernde Faktoren für die Freisetzung von Ammoniak aus Wirtschaftsdüngern

Quelle: eigene Darstellung, KTBL 2021

2 Futter und Fütterung von Nutztieren

2.1 Allgemeine Grundsätze

Die Stickstoffmenge und -form in Futtermitteln und deren Umsetzung im Tier bestimmen die Höhe der N-Ausscheidung und somit das mögliche Ausmaß der Ammoniakfreisetzung in der Nutztierhaltung. Die Hauptquellen für Ammoniakverluste sind hierbei:

- ▶ der Harnstoff in den Exkrementen der Säugetiere
- ▶ die Harnsäure in den Exkrementen des Geflügels

Im Harn der Säugetiere ist der Stickstoff zu etwa 80 % als Harnstoff oder anderen leicht zu Ammonium abbaubaren organischen Verbindungen gebunden. Dieser kann leicht als Ammoniak freigesetzt werden. Kot-Stickstoff ist weniger leicht flüchtig, da er im unverdauten Protein oder im Bakterienprotein bzw. deren Nukleinsäuren enthalten ist.

Überschüssig zugeführtes Futtereiweiß wird im Tier abgebaut und der enthaltene Stickstoff in erster Linie als Harnstoff mit dem Harn oder als Harnsäure ausgeschieden. Eine Verminderung dieser Eiweißüberschüsse führt daher zu einem Rückgang der N-Ausscheidungen mit dem Harn und senkt das Ammoniakemissionspotenzial. Weitere Stickstoffverluste aus dem Futter, allerdings in geringerem Maße, resultieren aus der Futterwerbung, der Futterlagerung und der Futtervorlage.

Emissionen lassen sich vermindern, wenn Leistungseinbußen bei geringerem Proteinaufwand vermieden werden. Der Erhaltung der Tiergesundheit und der Ausschöpfung des Leistungspotenzials kommen damit eine wichtige Rolle zu. Hohe Tierleistungen stellen allerdings auch hohe Anforderungen an die Futtergrundlage. Ziel der Nutztierhaltung sollte eine möglichst hohe Lebensleistung unter Berücksichtigung von Tierwohl, Tiergesundheit und Umweltverträglichkeit sein.

2.1.1 Futter und Futterkonservierung

Die Menge und Zusammensetzung des betriebseigenen Futters und damit auch die Notwendigkeit des Futterzukaufs wird zunächst durch das gewählte Nutzflächenverhältnis und die optimale Gestaltung von Futterbau und -konservierung bestimmt.

Futterqualität beim Grobfutter

Ein hoher Energiegehalt der Grobfuttermittel verbessert die mikrobielle Eiweißbildung bei der Fermentation des Grobfutters. Diese findet bei Wiederkäuern im Vormagen, bei Geflügel, Schwein und Pferd im Kropf, Dick- und Blinddarm statt. Dem Grobfutter kommen bei allen Tieren auch wichtige Funktionen im Bereich des Verhaltens und der Diätetik zu. Einfluss auf die Futterqualität, die Nährstoffzusammensetzung in den Grobfuttern und auf die Kraftfuterkomponenten haben:

- ▶ das Verhältnis zwischen Grünland- und Feldfutter
- ▶ die Nutzungsart (Weide- oder Schnittnutzung)
- ▶ der Nutzungsstermin
- ▶ die N-Düngung
- ▶ die Sortenwahl (überwiegend Ackerfutterbau)
- ▶ die Ernte und Konservierung
- ▶ die Lagerung, Entnahme und Vorlage

Auf Grünland geht ein besonderer Einfluss von der Nutzungsart, also Weide- oder Schnittnutzung, aus. Vorteile der Weide sind die hohe Energiedichte und damit hohe Energieaufnahme aus dem Grobfutter sowie günstige Voraussetzungen für eine tiergerechte Haltung. Der Vorteil der Schnittnutzung und der Verfütterung von Grassilage liegt in einer besseren Einpassung in die Futtermischung insbesondere von Hochleistungstieren.

Die N-Konzentration im Grünlandaufwuchs und somit die Höhe der N-Ausscheidungen sowie die N-Menge im Harn hängen vorrangig von der N-Mobilisierung im Boden, dem Entwicklungsstadium und damit dem Nutzungsstermin der Pflanzen, der Artenzusammensetzung des Grünlandbestandes und der Höhe der N-Düngung ab. Ein Hinauszögern des Nutzungsstermins würde zwar den N-Gehalt im Weidefutter senken, hätte aber auch erhebliche wirtschaftliche und ökologische Nachteile, z. B. einen erhöhten Bedarf an zugekauftem Kraftfutter, da gleichzeitig die Energiekonzentration im Weideaufwuchs verringert wird. Es besteht auch die Möglichkeit, durch energiereiche, N-arme Futtermittel, wie zum Beispiel Melasseschnitzel, Getreide, Körnermais und spezielle Ausgleichsfutter, eine hohe ruminale Stickstoffbilanz (RNB) in der Ration auszugleichen.

Auch ein sorgfältiger Umgang mit den betriebseigenen Futtermitteln steigert deren Aufnahme und verbessert die mikrobielle Eiweißbildung durch eine höhere Energiedichte. Zu einem sorgfältigen Umgang gehören:

- ▶ die Vermeidung von Futterverlusten durch geeignetes Weidemanagement und verlustarme Futterbergung
- ▶ die Minimierung der Silierverluste durch Optimierung der Futterkonservierung
- ▶ eine verbesserte Futtervorlage

Untersuchungen haben gezeigt, dass je nach Futterart Verluste von 20 bis 30 % zwischen der Aufwuchsmenge und der verzehrten Futtermenge entstehen können (DLG 2016a). Ein besonderes Augenmerk ist auf den Erhalt der Futterqualität bis zum Maul durch die Vermeidung von Nacherwärmung und Schimmelbildung bei Silagen zu legen. Die Sicherstellung einer ausreichenden Strukturversorgung ist beim Rind Voraussetzung für eine maximale mikrobielle Eiweißsynthese im Vormagen.

Futterqualität beim Getreide

Das Getreide ist bei allen Nutztieren eine wichtige Futterbasis. Im Hinblick auf die Minderung der N-Ausscheidung sind differenzierte Orientierungs-

werte für das Rohprotein im Futtergetreide je nach Tierart und Nutzungsrichtung anzuwenden. Bei Schwein und Geflügel ist die notwendige Versorgung mit Aminosäuren mit möglichst geringen Gehalten an Rohprotein zu gewährleisten. Dies heißt, dass geringe Rohproteingehalte bei gleichzeitig hohen Gehalten an essenziellen Aminosäuren, insbesondere Lysin und Methionin im Protein anzustreben sind.

2.1.2 N-Ausscheidung in Abhängigkeit von Fütterung und Leistung

Entscheidende Einflussfaktoren für die mit den Exkrementen ausgeschiedenen Stickstoffmengen sind:

- ▶ die N-Mengen im Futter
- ▶ die Leistung der Tiere (Laktationsstadien, Wachstumsstadien, Alter der Tiere)

Die N- Ausscheidung wird berechnet aus der Differenz zwischen der N-Aufnahme mit dem Futter und dem N-Ansatz im Produkt.

In der Tabelle 1 sind beispielhaft die mittleren Werte der N-Ausscheidungen für verschiedene Produktionsverfahren in der Rinderhaltung dargestellt.

Tabelle 1

Mittlere N-Ausscheidung beim Rind in Abhängigkeit von der Futterbasis und unterschiedlichem Leistungsniveau – ohne Weidegang

Futterbasis	Grünland ¹⁾		Ackerfutterbau	
1. Milchkühe nach Milchleistung je Kuh und Jahr				
6.000 kg ECM	109 kg N/Kuh und Jahr	18,1 g N/kg ECM	100 kg N/Kuh und Jahr	16,6 g N/kg ECM
8.000 kg ECM	124 kg N/Kuh und Jahr	15,5 g N/kg ECM	115 kg N/Kuh und Jahr	14,4 g N/kg ECM
10.000 kg ECM	141 kg N/Kuh und Jahr	14,1 g N/kg ECM	133 kg N/Kuh und Jahr	13,3 g N/kg ECM
12.000 kg ECM	— ²⁾	— ²⁾	152 kg N/Kuh und Jahr	12,6 g N/kg ECM
2. Jungrinderaufzucht, Erstkalbealter 27 Monate mit 650 kg				
605 kg Zuwachs	129 kg N/Färse ³⁾	213 g N/kg Zuwachs ³⁾	102 kg N/Färse	169 g N/kg Zuwachs
3. Mutterkuhhaltung, 700 kg LM, Absetzen mit 9 Monaten				
340 kg Absetzer	115 kg N/Kuh ³⁾	337 g N/kg Zuwachs ³⁾	— ²⁾	— ²⁾
4. Rindermast: Jungbulle ab Kalb				
DH, 630 kg Zuwachs	— ²⁾	— ²⁾	58 kg N/Bulle	92 g N/kg Zuwachs
FV, 705 kg Zuwachs	— ²⁾	— ²⁾	62 kg N/Bulle	88 g N/kg Zuwachs

¹⁾ Betriebe mit mehr als 75 % Grasprodukten an der verbrauchten Grobfuttertrockenmasse gelten als Grünlandbetriebe;

²⁾ wenig in der Praxis verbreitet;

³⁾ mit Weide;

DH: Deutsche Holstein, FV: Fleckvieh

Quelle: DLG 2014

Unterschieden wird nach der Futterbasis und im Bereich der Milchkühe auch nach unterschiedlichen Leistungsniveaus. Insbesondere zwischen Grassilage und Silomais besteht ein erheblicher Unterschied im Rohprotein- und somit auch im Stickstoffgehalt. In den Grünlandbetrieben ist eine höhere N-Ausscheidung bei Milchkühen und Jungrindern unvermeidlich. In der Milchkuhhaltung beeinflusst zudem die Leistungshöhe die N-Ausscheidungen. Mit zunehmender Leistung steigen die Ausscheidungen je Kuh an, bezogen auf ein kg Milch ergeben sich geringere Ausscheidungen. Wegen der geringen Bedeutung der Mutterkuhhaltung auf Ackerstandorten und der Bullenmast auf Grünlandstandorten wurde auf eine Darstellung entsprechender Daten verzichtet.

Zur Bildung von Eiweiß in Form von Milch, Fleisch und Eiern sowie zur Aufrechterhaltung des Eiweißstoffwechsels benötigen die Tiere bestimmte Aminosäuren. Der Bedarf wird über Futtereiweiß und beim Wiederkäuer vor allem über im Vormagen gebildetes Mikrobenprotein gedeckt. Über die Ausgestaltung der Fütterung kann der Bedarf der Tiere mit unterschiedlichen Mengen an Rohprotein erfüllt werden.

Zur bedarfsgerechten Fütterung gehört weiterhin die Anpassung der Aminosäuren- bzw. Rohproteingehalte im Futter an das jeweilige Alter, die verschiedenen Wachstums- sowie die Leistungsstadien und -niveaus der Tiere entsprechend den bestehenden Empfehlungen zur Versorgung. So werden sowohl ein Luxuskonsum als auch eine Unterversorgung vermieden.

Folgende Schritte sind für eine bedarfs- und tiergerechte Fütterung erforderlich:

- ▶ Ermittlung der Leistung zur Festlegung des Bedarfs
- ▶ Erfassung der verfügbaren Futtermengen und Bestimmung der Gehalte an Energie, Nähr- und Mineralstoffen durch Analysen der betriebseigenen Futtermittel
- ▶ Zukauffutter – Beachtung der Deklaration, der Futterwertprüfergebnisse sowie der Futterwerttabellen der DLG, der Ländereinrichtungen, des VFT und der UFOP (DLG 2001, 2008, 2010, 2012)
- ▶ Durchführung von Rationsberechnungen und -optimierungen
- ▶ Erfassung der Mengen bei der Futtervorlage und Durchführung der Rationskontrolle hinsichtlich Qualität, verzehrter Menge und Vergleich zu tatsächlich erbrachter Leistung

Um Fehler in der Fütterung frühzeitig zu erkennen und zu vermeiden sind Systeme zur Fütterungskontrolle anzuwenden und die Empfehlungen der DLG zu beachten (DLG 2012, DLG 2016b). Hierbei wird der Fütterungserfolg gemessen und Zielvorgaben gegenübergestellt, sodass korrigierend eingegriffen werden kann.

Durch die konsequente Umsetzung und Anwendung der aufgezeigten Maßnahmen kann die Nährstoffausscheidung merklich gemindert werden (Tabelle 2 und 3). Die Minderungspotenziale schwanken

Tabelle 2

Mittlere N-Ausscheidung von Schweinen bei Standardfütterung, N-reduzierten und stark N-reduzierten Fütterungsverfahren (kg N/TP und Jahr)

Verfahren	Standard	N-reduziert	stark N-reduziert
Ferkelerzeugung (Sauen und Ferkel) bis 28 kg Lebendmasse			
▶ 22 aufgezogene Ferkel je Sau/Jahr	39,2	35,1	33,5
▶ 25 aufgezogene Ferkel je Sau/Jahr	41,1	36,8	35,0
▶ 28 aufgezogene Ferkel je Sau/Jahr	42,9	38,4	36,6
Schweinemast von 28 bis 118 kg Lebendmasse			
▶ 750 g Tageszunahme	11,4	10,9	9,8
▶ 850 g Tageszunahme	12,2	11,7	10,6
▶ 950 g Tageszunahme	12,5	12,0	10,8

Quelle: DLG 2014

Tabelle 3

Mittlere N-Ausscheidung beim Geflügel bei Standard und N-angepassten Fütterungssystemen

Verfahren	Standard	N-reduziert
Eierzeugung: 17,6 kg Eimasse/TP und Jahr		
kg N/100 Hennenplätze und Jahr	76,4	73,1
Hähnchenmast (kg N/100 Mastplätze und Jahr)		
▸ über 38 Tage	41,3	38,5
▸ 34–38 Tage	38,8	35,7
▸ 30–33 Tage	32,8	31,1
▸ bis 29 Tage	26,7	24,9
Putenmast (kg N/Mastplatz und Jahr)		
▸ Henne, 10,9 kg Zuwachs	1,42	1,34
▸ Hahn, 22,1 kg Zuwachs	2,15	1,99

Quelle: DLG 2014

zwischen 5 und 20 % gegenüber einer Standardfütterung, je nach Tierart, Leistungsstadium und -niveau und Ausgangssituation. Beim Schwein wird in Standard, N-reduziert und stark N-reduziert unterschieden. Diese sind in DLG (2014) beschrieben. Unter Standard wird hierbei eine Fütterung verstanden, in der keine speziellen Maßnahmen zur Minderung der N-Ausscheidung Anwendung finden. Damit die geringeren N-Ausscheidungen erreicht werden, sind für die verschiedenen Mischfuttermittel für Schweine und Geflügel die dort aufgeführten Rohproteingehalte in Abhängigkeit der Energiedichte einzustellen. Die gewogenen mittleren Rohproteingehalte betragen zum Beispiel in der Leistungsklasse 28 aufgezogene Ferkel je Sau und Jahr bei Standardfütterung 17,9 % Rohprotein (XP), bei N-reduzierter Fütterung 16,5 % XP und bei stark N-reduzierter Fütterung 16,0 % XP. In der Schweinemast von 28 bis 118 kg Lebendmasse (LM) und der Leistungsklasse von 850 g Tageszunahme betragen die gewogenen mittleren Rohproteingehalte bei Standardfütterung 17,1 % XP, bei N-reduzierter Fütterung 16,4 % XP und bei stark N-reduzierter Fütterung 15,4 % XP. Die Versorgung mit Aminosäuren – insbesondere mit essenziellen – ist durch den Einsatz von freien synthetischen Aminosäuren, zumeist in kristalliner Angebotsform zu gewährleisten.

Die Auswirkung der Absenkung der Rohproteingehalte auf die NH_3 -Emission ist erheblich und je nach Nutztier und Nutzungsrichtung verschieden. Aus der nachstehenden Abbildung 7 sind die Effekte der Rohproteinabsenkung ersichtlich. Beim Rind führte in den ausgewerteten Versuchen die Absenkung des Rohproteins um 1 Prozentpunkt in der Trockenmasse zu einer mittleren Minderung der NH_3 -Freisetzung um 17 % und beim Schwein lag die Minderung im Mittel bei 10 %.

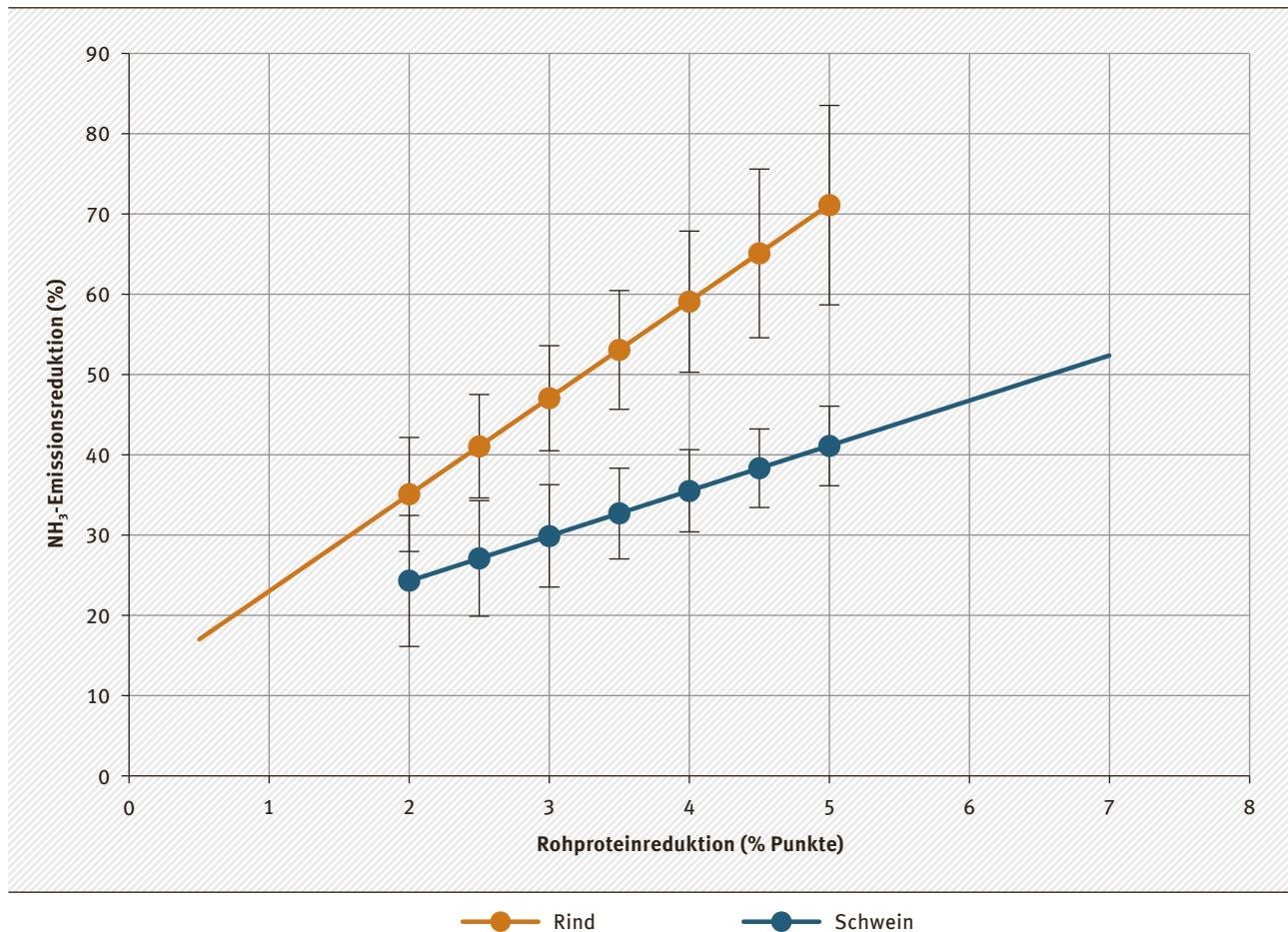
2.2 Minderungsmaßnahmen

2.2.1 Rinderhaltung

Bei den Rindern gilt es, die Besonderheiten der Stickstoffumsetzungen im Vormagen zu beachten. Der größte Teil des mit dem Futter aufgenommenen Rohproteins wird im Vormagen bis zum Ammoniak abgebaut. Zur Versorgung der Rinder mit Protein und zur effizienten Stickstoffnutzung ist es entscheidend, dass ein möglichst großer Anteil des im Vormagen freigesetzten Stickstoffs für den Aufbau von mikrobiellem Protein genutzt wird. Für eine möglichst bedarfsgerechte Versorgung der Rinder mit Protein am Darm (nXP) und eine Minderung der Ammoniakemission sind daher zu berücksichtigen:

- die Art und Menge des Futterproteins
- alle Faktoren, die das mikrobielle Wachstum im Vormagen beeinflussen

Abbildung 7

Einfluss der Minderung des Rohproteingehaltes im Futter auf die Ammoniakemissionen

Quelle: Sajeev et al. 2018; übersetzt

Milcherzeugung**Energie-Protein-Verhältnis einstellen**

N-Überschüsse (positive RNB) in der Fütterung, insbesondere durch junges Weidegras oder frühgeschnittene Silage bzw. Heu (Kapitel 2.1.1), sollten in der Futtermischung möglichst ausgeglichen werden. Als eiweißarme Energieausgleichsfutter (negative RNB) eignen sich z. B. Maissilage, Pressschnitzelsilage, Getreide, Körnermais oder Melasseschnitzel (DLG 2001).

Eingeschränkter Handlungsspielraum für ein optimales Energie-Protein-Verhältnis besitzen Futterbaubetriebe, die das Grobfutter für die Wiederkäuer überwiegend auf Dauergrünland erzeugen müssen. Sofern es die standörtlichen und betriebsinternen Bedingungen erlauben, ist eine ausgeglichene Eiweißversorgung in Kombination mit Grünlandaufwuchs durch Anbau von Silomais, Maiskornsilage oder Lieschkolbenschrot anzustreben. Der Zukauf energiereicher Saftfutter wie Pressschnitzel, Kartoffel-

pelprodukte oder Melasseschnitzeln und der Einsatz von Getreide und Körnermais sind weitere Möglichkeiten.

Mikrobielle Stickstoffausnutzung optimieren

Das Wachstum der Pansenmikroben und somit der Einbau von Stickstoff im Bakterienprotein wird in erster Linie durch die Energieversorgung im Vormagen bestimmt. Alle Maßnahmen, die zur verbesserten Futteraufnahme und zur Optimierung der mikrobiellen Eiweißsynthese führen, sind zu nutzen. Folgende Punkte sind zu beachten:

► **Start in die Laktation optimieren**

Haltung, Fütterung und Gesundheitsvorsorge vor und nach der Kalbung sind nach den aktuellen Empfehlungen auszurichten (DLG 2012), z. B. durch angepasste Fütterung der altemelkenden Tiere und zweigeteilte Fütterung trockenstehender Kühe.

- ▶ **Energieversorgung der Mikroben verbessern**
Hohe Energiegehalte im Grobfutter erzielen; Stärke, Zucker, Pektin in der Ration durch Maisanteil, Getreide, Rübenschnitzel etc. gezielt einstellen.
- ▶ **Synchronisation der Bereitstellung von Energie und Stickstoff im Vormagen**
Mischration zur gleichzeitigen Aufnahme aller Futtermittel, Kombination der Futtermittel nach Abbaugeschwindigkeit von Kohlenhydraten und Protein (DLG 2001) vorlegen.

Einsatz behandelter Proteine („pansenstabiles Eiweiß“)

Durch folgende technische und chemische Behandlung kann die Beständigkeit des Futtereiweißes im Vormagen erhöht werden:

- ▶ Behandlung mit Druck und Hitze, z. B. Extraktionsschrote von Raps und Soja
- ▶ gezielte Behandlung, z. B. spezielle Pelletierung von Raps- und Sojaextraktionsschrot
- ▶ Zugabe von chemischen Substanzen, z. B. Ligninsulfon

Beim Einsatz von Raps- und Sojaextraktionsschrot kommt dieser Effekt schon lange zum Tragen. Durch den Einsatz der behandelten Futtermittel kann die Eiweißversorgung am Darm mit einer geringeren Rohproteinversorgung erreicht werden. Dies ist besonders wichtig für Hochleistungstiere mit einer Milchleistung von über 30 kg je Tag.

Rationsanpassung an die Leistung mit fortschreitender Laktation

Entsprechend den Empfehlungen sollten bei Einsatz von Total-Mischrationen (TMR) in der Laktation mindestens zwei im Proteingehalt abgestufte Rationen zum Einsatz kommen (DLG 2001, 2020). Bei tierindividueller Kraftfuttergabe kann eine noch stärkere Anpassung am sich verändernden Bedarf im Laufe der Laktation erfolgen. Hierzu empfiehlt sich gegebenenfalls der Einsatz zweier verschiedener Futtermittel im Abrufautomat.

Fleischerzeugung und Jungrinderaufzucht

In der Mutterkuhhaltung, Bullenmast und Jungrinderaufzucht ist außer bei den Jungtieren bis 250 kg Lebendmasse die Eiweißversorgung am Darm nicht die begrenzende Größe, sondern die N-Versorgung der Pansenmikroben. Im Hinblick auf die Minderung

der N-Ausscheidung gilt es in erster Linie, die Rohproteinüberschüsse zu vermeiden. Eine auf den Bedarf der Tiere im jeweiligen Altersabschnitt ausgerichtete Fütterung steht daher im Vordergrund.

Totale Mischration

Eine erste Stufe der Verbesserung gegenüber der einphasigen Fütterung – ausgerichtet auf den höchsten Bedarf an Protein am Anfang der Mast – stellt in der Jungrinder- und Bullenmast eine Totale Mischration (TMR) dar, die auf die Mittelmast abgestimmt ist. Um die Versorgung in der Anfangsmast sicherzustellen, erfolgt eine Zulage von Eiweißfutter per Hand. Grundsätzlich wird eine dreiphasige Mast angestrebt, in der zwischen Anfangs- (200–350 kg), Mittel- (350–550 kg) und Endmast (über 550 kg) unterschieden wird. Dabei werden im Rohprotein- und Energiegehalt abgestufte Mischungen verwendet: 136 g Rohprotein und 11,5 MJ ME/kg in der Anfangsmast, 130 g Rohprotein und 11,4 MJ ME/kg in der Mittelmast und 125 g Rohprotein und 11,3 MJ ME/kg in der Endmast.

Beifütterung

In der Jungrinderaufzucht und der Mutterkuhhaltung ist die Ausgestaltung der Weide und Beifütterung an den Erfordernissen der Tiere auszurichten. Je nach Jahreszeit und angestrebter Leistung empfiehlt sich eine energiereiche und rohproteinarme Beifütterung (z. B. Melasseschnitzel im Herbst). Neben dem Rohproteinausgleich können hierdurch auch Minderleistungen vermieden werden. Anzustreben ist ein Erstkalbealter von 24 bis 26 Monaten (DLG 2016b). Eine Verlängerung um einen Monat erhöht die N-Ausscheidung um mindestens 5 kg pro aufgezogene Färse.

2.2.2 Schweinehaltung

Zur Senkung der N-Ausscheidung bei bedarfsdeckender Versorgung mit Aminosäuren stehen vier Maßnahmen im Vordergrund:

- ▶ Phasenfütterung, also die Differenzierung der Fütterung nach Lebendmasse und Leistung
- ▶ Optimierung der Aminosäurenversorgung durch Auswahl der Eiweißträger und den Einsatz von freien synthetischen Aminosäuren, zumeist in kristalliner Angebotsform, auf Basis der im Dünndarm verdaulichen Aminosäuren
- ▶ Stabilisierung des Futter- und Fütterungshygiestatus
- ▶ Optimierung der Futteraufbereitung und des Controllings

Ein weiterer Ansatzpunkt ist die Bindung von Stickstoff im Dick- und Blinddarm durch Mikroben. Hierzu muss die Ration so gestaltet werden, dass im Dickdarm vermehrt Energie zur Bildung von Mikrobenmasse zur Verfügung steht.

Phasenfütterung

Sowohl in der Ferkelerzeugung als auch in der Schweinemast ändert sich der Bedarf der Tiere an Aminosäuren in Relation zum Energiebedarf in den einzelnen Produktionsphasen. Bedeutsame Größen sind das Leistungsniveau und die Lebendmasse der Tiere. Durch den Einsatz abgestufter Futtermischungen, der sogenannten Phasenfütterung, kann daher eine Einsparung an Rohprotein erfolgen.

In der Sauenhaltung werden getrennte Futter für die Phasen „Säugend“ und „Tragend“ eingesetzt. Zusätzlich kann ein Futter eingesetzt werden, das die speziellen Bedürfnisse um den Zeitpunkt der Geburt abdeckt. Im Vergleich zur einphasigen Fütterung sinkt die Stickstoffausscheidung je Sau und Jahr bei dieser zweiphasigen Fütterung um etwa 5 kg. Futter für tragende Sauen haben 0,5 g Lysin je MJ ME und 12 bis 14 % Rohprotein. Beim Laktationsfutter liegen der Lysingehalt bei 0,73 g je MJ ME und der Rohproteingehalt bei 16 bis 17 %.

In der Schweinemast werden in Abhängigkeit von vorhandenen Fütterungstechniken mehrere Phasen genutzt. Ein Beispiel zeigt Abbildung 8. Je mehr nährstoffabgestufte Futtermischungen eingesetzt werden, umso höher ist die Minderung der Ammoniakemissionen. Zumindest eine dreiphasige Mast sollte

durchgeführt werden. Insbesondere in der Endmast sind die Minderungspotenziale durch eine Absenkung des Rohproteingehaltes im Futter aufgrund der großen Futtermengen hoch. Eingestellt werden die Rohproteingehalte entsprechend der erforderlichen Versorgung mit essenziellen und semiessenziellen Aminosäuren durch den Einsatz freier Aminosäuren. Durch die konsequente Umstellung auf nährstoffangepasste Fütterung sinkt die Stickstoffausscheidung sehr deutlich (Tabelle 2).

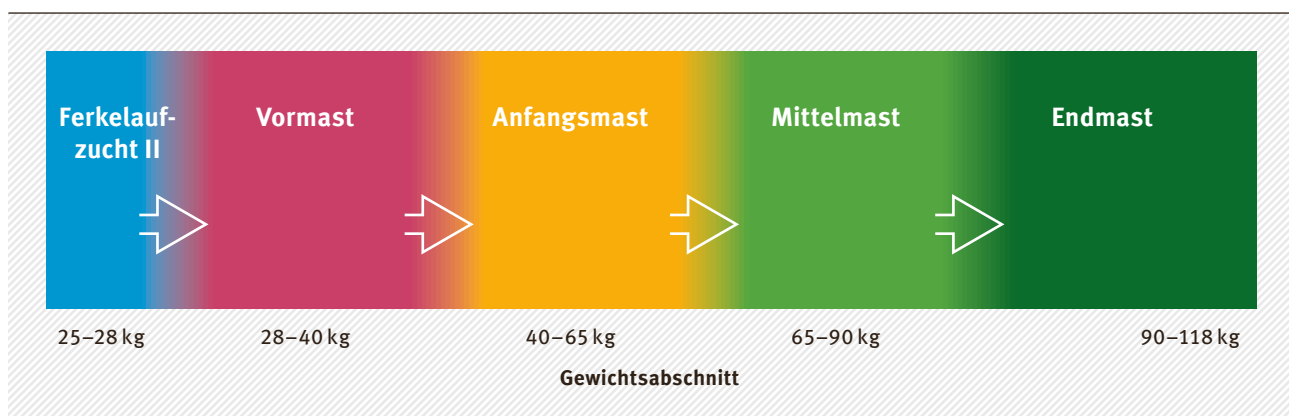
Aminosäureversorgung

Durch den Einsatz hochwertiger Eiweißträger und die gezielte Ergänzung des Futters mit freien Aminosäuren (Lysin, Methionin, Threonin, Tryptophan, Valin) kann der Rohproteingehalt im Futter bei bedarfsdeckender Aminosäurenversorgung gesenkt werden. Dies ist notwendig, um einen ausreichenden Gehalt an Aminosäuren im Verhältnis zur Energieversorgung zu erreichen.

Anwendung findet der Einsatz hochwertiger Eiweißträger und freier Aminosäuren mittlerweile in Sauen-, Ferkel- und Mastschweinefuttermischungen gleichermaßen. Durch die mögliche Absenkung des Rohproteingehalts verbessert sich auch die diätetische Wirkung des Futters, was unter anderem die Anfälligkeit gegenüber Coli-Infektionen besonders bei Ferkeln mindert. In Mischungen mit Körnerleguminosen ist insbesondere der Zusatz von Methionin notwendig. Der Einsatz hochwertiger Proteinträger und die Zugabe von freien Aminosäuren können je nach aktueller Preisrelation zu Verteuerungen bei den Futtermischungen führen.

Abbildung 8

Gewichtsabschnitte bei einer 4-Phasenfütterung



Quelle: DLG 2014

Verschiebung der N-Ausscheidung von Harn nach Kot

Pektinhaltige Futtermittel wie Rüben und deren Nebenprodukte verringern die N-Ausscheidungen im Harn, da überschüssiger Stickstoff aus dem Stoffwechsel im Dickdarm zur Bildung von Bakterien-eiweiß genutzt und mit dem Kot ausgeschieden wird (Schulze et al. 1993, Canh et al. 1997).

2.2.3 Geflügelhaltung

Nährstoffangepasste Fütterung

Die Möglichkeiten zur nährstoffangepassten Fütterung sind beim Geflügel ähnlich wie beim Schwein. Aufgrund des Federkleides, das einen hohen Anteil an schwefelhaltigen Aminosäuren enthält, ist beim Geflügel jedoch vielfach die Aminosäure Methionin und nicht Lysin erstlimitierend. Zur Minderung der N-Ausscheidung kann eine Phasenfütterung durchgeführt werden und eine Supplementierung der Ration mit freien Aminosäuren erfolgen (DLG 2014).

Phasenfütterung

Bei der Phasenfütterung ist für die jeweilige Tierkategorie Folgendes zu beachten:

In der Legehennenhaltung ist die Auswirkung der Phasenfütterung auf die N-Ausscheidung relativ gering. Sie wird in erster Linie zur Anpassung der Mineralstoffversorgung eingesetzt. Das Gleiche gilt für die Junghennenaufzucht.

In der Geflügelmast ist die Phasenfütterung ein typisches und etabliertes Verfahren. Mit zunehmender Mastdauer verändern sich die Ansprüche der Tiere an die Aminosäurenversorgung. Die Tiere werden in großen Gruppen nach dem Rein-Raus-Prinzip gehalten, bei dem die technische Durchführung der Phasenfütterung einfach zu handhaben ist.

Bezüglich der Optimierung der Aminosäurenversorgung gelten grundsätzlich für die Geflügelhaltung die gleichen Zusammenhänge wie beim Schwein (Kapitel 2.2.2).

2.2.4 Weitere Nutztiere

- ▶ Die dargestellten Maßnahmen in den Bereichen Futter und Fütterung gelten auch für die Fütterung von Pferden, Schafen, Ziegen und Kaninchen.
- ▶ Da die Fütterung von Schafen und Ziegen auf Grobfutter basiert, sind hier die beim Rind aufgeführten Maßnahmen zu berücksichtigen.
- ▶ Beim Pferd sind die Besonderheiten der Blinddarmverdauung zu beachten.
- ▶ Für die Erzeugung von Kaninchenfleisch können ebenfalls die Phasenfütterung und die Optimierung der Versorgung mit Aminosäuren eine Reduzierung der N-Ausscheidung bewirken.

2.3 Umsetzung, Beratung und Controlling

In den vorangegangenen Kapiteln wurde eine Reihe von Maßnahmen zur Minderung der N-Überschüsse und somit zur Reduzierung der Ammoniakemissionen aufgezeigt. Die Maßnahmen haben in unterschiedlichem Ausmaß Einfluss auf die Futterkosten und stellen zusätzliche Ansprüche an die einzelbetriebliche Organisation, Logistik und Ausstattung der Fütterungsanlagen.

Ferner wirkt sich eine Absenkung der Rohproteingehalte in unterschiedlichem Maß auf die Ammoniakemissionen aus (Kapitel 2.1.2). Eine Übersicht über die möglichen Wirkungen der aufgezeigten Maßnahmen ist in Tabelle 4 aufgeführt. Die Angaben erfolgen bei der Minderung der N-Ausscheidung in Schritten von 5 Prozent. Eine Addition der aufgezeigten Minderungspotenziale für die N-Ausscheidung darf nicht durchgeführt werden, da die Maßnahmen ineinandergreifen. Beim Schwein sinkt bei N-angepasster Fütterung die Ammoniakfreisetzung stärker als die N-Ausscheidung. In der rechten Spalte der Tabelle 4 werden aufgrund von bisherigen Untersuchungsergebnissen die zu erwartenden Effekte auf die Emissionen im Verhältnis zur N-Ausscheidung dargestellt.

Die größten Effekte in der Fütterung ergeben sich durch den Einsatz von freien Aminosäuren und hochwertigen bzw. behandelten Proteinen. Hierdurch wird die Fütterung je nach aktueller Preisrelation gegebenenfalls verteuert. Außerdem ist die Verfügbarkeit hochwertiger Proteinträger nur eingeschränkt gegeben.

Tabelle 4

Maßnahmen zur Minderung der Ammoniakemission durch Anpassung von Futter und Fütterung

Maßnahme	Auswirkung auf	
	Minderung der N-Ausscheidung (in %) ¹⁾	zu erwartende Ammoniak-emissionsminderung im Verhältnis zur N-Minderung
1. Futterbau und Futterkonservierung		
▸ Flächennutzung	bis 10	gleich
▸ Steuerung der Futterinhaltsstoffe	bis 10	größer
2. Steigerung der Leistung		
▸ je Einheit Produkt	bis 20	größer
3. Anpassung der Fütterung		
▸ Fütterung nach Bedarf	10	gleich
4. Spezielle Maßnahmen		
a) Milcherzeugung		
▸ mikrobielle N-Ausnutzung	5	größer
▸ behandelte Proteine	bis 10	gleich
b) Rindfleischerzeugung		
▸ N-Ausgleich	5	größer
▸ Phasenfütterung	10	größer
c) Schweine		
▸ Nährstoffangepasste Fütterung und Einsatz freier Aminosäuren	7,5–15	größer
▸ Verschiebung N von Harn zu Kot	keine	— ²⁾
d) Geflügel		
▸ Phasenfütterung	5 bis 10	größer
▸ Optimierung der Aminosäureversorgung	5 bis 20 ³⁾	größer

¹⁾ Die hier kalkulierten N-Minderungspotenziale resultieren aus der Gegenüberstellung der Standard-N-Ausscheidungen nach DLG 2014 (Tabellen 1 bis 3) und sind nicht mit Vorgaben zum Emissionsrecht vergleichbar – diese basieren u. a. zusätzlich auf N-Gehaltsmessungen in Gülle.

²⁾ wegen der Verringerung der Harnstoffausscheidung ist eine geringere Emission zu erwarten.

³⁾ bei Geflügel besteht noch weiterer Forschungsbedarf.

Um die Reserven im Betrieb besser erkennen und die Wirksamkeit von Maßnahmen beurteilen zu können, empfiehlt sich eine gezielte Kontrolle. Im Futterbau ist hierfür eine exakte Erfassung der Erntemengen und Inhaltsstoffe notwendig. Die Bilanzierung der Nährstoffausscheidung und die Hoftor- bzw. Stoffstrombilanz sind wertvolle Ergänzungen zur Betriebszweigauswertung.

Im Rahmen der einzelbetrieblichen Fütterungskontrolle sind chemische Analysen der gefütterten Rationen vorzunehmen und mit den Zielgrößen zu vergleichen. Sachgerechte Auswertungen von Ergebnissen aus der Milchleistungsprüfung lassen ebenfalls Schlussfolgerungen auf die Versorgungslage der Tiere mit Energie und Rohprotein zu. Außerdem können weitere produktionstechnische

Daten verschiedener Beratungsorganisationen wie z. B. Erzeugerringe, Landeskontrollverbände, Futtermittelprüfungen Informationen über Leistungshöhe und Futteraufwand liefern.

Aufgrund unterschiedlicher Ausgangssituationen im Einzelbetrieb können keine verbindlichen Angaben zu Auswirkungen der proteinangepassten Fütterungsstrategien auf die Futterkosten gemacht werden. Die Auswirkungen sind sehr stark abhängig von Preisen der verschiedenen Proteinträger und den Zukaufkosten für freie Aminosäuren. In Abhängigkeit der Preisrelationen können die Futterkosten steigen oder sinken, sodass immer der Einzelfall zu betrachten ist. Ein überzogenes Sicherheitsdenken bei der Eiweißversorgung fördert ein Überangebot und die daraus resultierenden hohen Stickstoffausscheidungen. Eine bedarfsgerechte Versorgung der Tiere setzt genaue Kenntnisse über das Leistungspotenzial der Tiere und die Zusammensetzung der Futterkomponenten für eine optimale Rationsgestaltung voraus.

Für Betriebe, die ihre Rationsgestaltung sehr eng am tatsächlichen Bedarf ausrichten wollen und auch Komponenten mit stärker schwankenden Inhaltsstoffen wie z. B. Koppelprodukte aus der Nahrungsmittelbe- und -verarbeitung sowie der Erzeugung erneuerbarer Energien verfüttern empfiehlt sich die regelmäßige Durchführung eines Futtercontrollings.

Ein möglicher Ablauf für ein Futtercontrolling bei Schweinen wird nachfolgend verdeutlicht:

- ▶ Beratungsanfrage, Betriebsbesuch, Erfassung der Futterwirtschaft, Tierhaltung und Fütterung nebst eingesetzten Techniken
- ▶ Erstellung eines Protokolls des Betriebsbesuchs
- ▶ Futterprobenahmen bei ausgewählten fertigen Mischungen und Beauftragung zur Untersuchung auf festzulegende Parameter
- ▶ Vergleich von Futterberechnung mit Untersuchungsergebnissen
- ▶ Erarbeitung von Verbesserungsmaßnahmen mit Zeitplan

2.4 Gute Fachliche Praxis im Bereich Futter und Fütterung

Futterbau und Futterkonservierung

- ▶ fachgerechter Futterbau durch Nutzungstermin, Düngung, Sortenwahl etc.
- ▶ Nutzung differenzierter Orientierungswerte für die Rohproteingehalte z. B. im Futtergetreide je nach Verwendung; beim Schwein: geringe Rohproteingehalte bei gleichzeitig höheren Lysingehalten im Rohprotein
- ▶ Gewährleistung hoher Futterqualität und Vermeidung unnötiger Futterverluste bei der Futtergewinnung, -konservierung und -vorlage

Fütterung

- ▶ sachgerechte Rationsplanung und -kontrolle
- ▶ Analyse von Grob- und Kraftfutter und Anwendung anerkannter Schätzmethode
- ▶ Leistungsvermögen unter Beachtung des Tierbesatzes nutzen, soweit dies dem Wohl der Tiere nicht entgegensteht
- ▶ Nutzung der Möglichkeiten für Weideführung in der Rinderhaltung
- ▶ Anpassung der Fütterung an den Leistungs- und Entwicklungsstatus der Nutztiere
 - ▶ Milchkühe: verschiedene Abschnitte in der Laktation und der Trockenstehzeit
 - ▶ Mastrinder: Anfangs-, Mittel- und Endmast
 - ▶ Sauen: tragend und säugend
 - ▶ Mastschweine: Anfangs- Mittel- und Endmast
 - ▶ Mastgeflügel: verschiedene Lebendmasseabschnitte in der Mast
- ▶ Rohproteinbilanz bzw. Ausgleich der ruminalen Stickstoffbilanz beim Rind
- ▶ Einsatz von freien Aminosäuren beim Schwein und Geflügel

3 Minderungsmaßnahmen im Stall

3.1 Allgemeine Grundsätze

Die Stallhaltung von Nutztieren ist neben der Ausbringung von Wirtschaftsdüngern eine der größten Quellen für Ammoniakemissionen aus der Landwirtschaft. Sie machen in der Schweinehaltung 66 %, in der Rinderhaltung 31 % und in der Geflügelhaltung 34 % der Ammoniakemissionen aus (Abbildung 4). Daher kommt der Minderung der Emissionen bereits im Stall eine große Bedeutung zu. Zudem führt diese zu einer Verbesserung des Stallklimas und wirkt sich somit positiv auf das Tierwohl und die Gesundheit der im Stall arbeitenden Menschen aus.

Ammoniak entsteht bei mikrobiellen Abbauprozessen von Harnstoff, Harnsäure und Proteinen in den Ausscheidungen der Tiere und aus dem Abbau ungenutzter Futtermittel. Mikrobielle Prozesse sind temperaturabhängig. Bei Temperaturen von über 15 °C steigt die Umwandlung von Harnstoff in Ammonium stark an, d. h. ein ganzjährig möglichst niedriges Temperaturniveau im Stall vermindert das Emissionspotenzial. Eine schnelle Kot-Harn-Trennung hat ebenfalls eine geringere Ammoniakbildung zur Folge, weil dann das erforderliche Enzym Urease, das im Kot der Tiere vorkommt, weniger wirksam sein kann. Diese Harnstoffhydrolyse beginnt etwa 0,5 bis 1 Stunde nach dem Kontakt des Harns mit dem Kot bzw. den emittierenden Oberflächen und ist nach wenigen Stunden abgeschlossen. Insbesondere bei Geflügelkot hemmt das Trocknen die Ammoniakbildung. Eine erhöhte Freisetzung von Ammoniak in die Stallluft erfolgt über feuchte oder nasse, verschmutzte Oberflächen. Sie steigt mit der Ammoniumkonzentration in der Flüssigphase, dem pH-Wert, der Temperatur, der Größe der emittierenden Oberfläche, der Verweilzeit von Kot und Harn im Stall sowie mit der Luftgeschwindigkeit oder dem Luftwechsel über der emittierenden Oberfläche an. Die Minimierung der Ausscheidung überschüssigen Stickstoffs in Kot und Harn der Nutztiere durch eine nährstoffreduzierte Fütterung (Kapitel 2) sowie die Vermeidung von ungenutzten Futterresten sind sehr wirksame Maßnahmen, um Emissionen nicht nur im Stall, sondern auch bei der Lagerung und Ausbringung der Gülle zu vermeiden.

Verfahrensintegrierte, baulich-technische Maßnahmen zur Minderung der Ammoniakemissionen aus Ställen setzen an diesen Einflussfaktoren an und werden nachfolgend für die wichtigsten Tierkategorien beschrieben. Darüber hinaus können die Emissionen aus zwangsgelüfteten Ställen in der Schweine- und Geflügelhaltung mithilfe von Abluftreinigungsanlagen verringert werden.

Einige der nachfolgend beschriebenen Maßnahmen lassen sich nur in Neubauten realisieren, andere können auch in bestehenden Gebäuden nachträglich eingebaut werden. Zudem unterscheiden sich die Maßnahmen hinsichtlich des baulich-technischen Aufwandes, der zu ihrer Umsetzung erforderlich ist, und der praktischen Erfahrungen, die bisher in Deutschland zu ihrem Einsatz vorliegen. Bei einigen Maßnahmen wird die Wirksamkeit zur Emissionsminderung unter deutschen Bedingungen derzeit im Rahmen von Forschungsvorhaben weiter untersucht.

Größere immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftige Tierhaltungsanlagen unterliegen besonderen Anforderungen zur Anwendung der Besten Verfügbaren Techniken (BVT) und des Standes der Technik. Für kleinere immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftige Tierhaltungsanlagen gilt nur der Stand der Technik. Hier gelten die baulichen und betrieblichen Vorgaben zur Emissionsminderung in Nr. 5.4.7.1 der TA Luft unabhängig von der Guten Fachlichen Praxis für Rinder, Schweine und Geflügel. Maßnahmen, die als BVT eingestuft werden, sind in den entsprechenden Unterkapiteln gekennzeichnet.

Neben den baulich-technischen Maßnahmen liegt ein großes Potenzial zur Emissionsminderung in den beschriebenen Managementmaßnahmen, die unabhängig von der Stallform und -größe immer berücksichtigt werden sollten.

Was müssen Betriebe beachten, die nach den Vorgaben des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) genehmigt werden?

In Abhängigkeit von der Art und Größe einer Tierhaltungsanlage stellt das Immissionsschutzrecht unterschiedliche Anforderungen hinsichtlich der Genehmigungspflichten und baulich-betrieblichen Maßnahmen zur Emissionsminderung.

Tierhaltungsanlagen ab 2.000 Tierplätzen für Mast-schweine, ab 750 Tierplätzen für Sauen, ab 6.000 Plätzen für Ferkel und ab 40.000 Tierplätzen für Geflügel müssen gemäß § 10 BImSchG mit Öffentlichkeitsbeteiligung genehmigt werden.

Tierhaltungsanlagen ab 1.500 Tierplätzen für Mast-schweine, ab 560 Tierplätzen für Sauen, ab 4.500 Plätzen für Ferkel und ab 30.000 Tierplätzen für Junghennen und Mastgeflügel, 15.000 Tierplätzen für Legehennen und Puten sowie ab 500 Kälber- bzw. 600 sonstigen Rinderplätzen werden gemäß § 19 BImSchG in einem vereinfachten Verfahren ohne Öffentlichkeitsbeteiligung genehmigt.

Für beide Anlagenarten gelten die baulichen und betrieblichen Vorgaben zur Emissionsminderung in der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft) unabhängig von der Guten Fachlichen Praxis.

In der TA Luft sind Minderungstechniken im Stall zur Reduzierung von Ammoniakemissionen für verschiedene Tierkategorien aufgelistet, die auf europäischer Ebene als Beste Verfügbare Techniken (BVT) eingestuft sind (Kapitel 9). Weiterhin sind die einzuhaltenden Emissionsgrenzwerte benannt. Welche Minderungstechnik zur Anwendung kommt, um diese Grenzwerte einzuhalten, entscheidet der Anlagenbetreiber selbst. Minderungsmaßnahmen oder Verfahren, die gleichwertige Effekte zur Emissionsminderung nachgewiesen haben, können angewendet werden.

3.2 Verfahrenintegrierte Maßnahmen im Stall

3.2.1 Rinderhaltung

Milchkühe werden überwiegend in freigelüfteten Liegeboxenlaufställen mit planbefestigten oder perforierten Laufflächen gehalten. Ein Laufhof oder Weidehaltung können diese Haltungsverfahren ergänzen. In der Mutterkuhhaltung ist Weidehaltung Standard. Alle weiteren Rinder stehen meist ebenfalls in Laufställen mit Flüssig- oder Festmistsystemen, bei Jungvieh auch oft ergänzt durch Weidehaltung im Sommer.

Durch einen hohen Anteil an mit Exkrementen verschmutzten Laufflächen im Stall oder im Auslauf erhöht sich das Emissionspotenzial für Ammoniak. Nachfolgende Maßnahmen im Stall können helfen, die Emissionen zu reduzieren.

Stallbauweise und Lüftung

Zur Absenkung des Temperaturniveaus im Stall sollte der Wärmeintrag gemindert und immer eine ausreichende Durchlüftung sichergestellt werden. Dies reduziert auch den Hitzestress für die Tiere.

Zur Minderung des Wärmeintrages sollten das Dach gedämmt und keine Lichtplatten verbaut sein, damit die Sonneneinstrahlung nicht in den Aufenthaltsbereich der Tiere gelangt. Eine möglichst helle Dacheindeckung ist sinnvoll. Die Wärmedämmung des Daches hat den Vorteil, dass im Winter die Kondensatbildung an der Stalldecke verhindert und die Frostgefahr im Stall verringert werden.

Damit auch bei Windstille und geringer Temperaturdifferenz zwischen innen und außen ein ausreichender Luftwechsel gewährleistet werden kann, sind große Lüftungsöffnungen von 0,5 bis 1,5 m²/Tier erforderlich. Die Traufhöhe sollte mindestens 4 m betragen. Die Durchlüftung des Stalles gelingt bei quergelüfteten Ställen umso besser, je exponierter der Stall liegt und frei ohne Hindernisse in der Umgebung angeströmt werden kann. Die Lüftung hemmende

Tabelle 5

Orientierungswerte für Stroheinstreu bei verschiedenen Milchvieh-Haltungsverfahren

Haltungsverfahren Milchvieh	kg Stroh/Tier und Tag
Liegeboxenstall	
Liegebox	0,1 bis 2,0
Laufbereich Festmistsysteme	1,0 bis 4,5
Tiefstreustall	
Lauf- und Liegebereich	6,0 bis 15
Tretmiststall	
Liegebereich	4,0 bis 7,0

Quelle: KTBL 2018

Anbauten sind zu vermeiden. Ein Mindestabstand zu Nachbarbauten, hohen Bäumen und Hecken von dem 3- bis 5-Fachen der Firsthöhe wird empfohlen. Die Längsachse des Stalles sollte quer zur Hauptwindrichtung ausgerichtet werden.

Zur Regulierung der Lüftung und zum Schutz vor Zugluft sind z. B. Windschutznetze, Spaceboards oder Jalousien notwendig.

Festmistverfahren

Bei Haltungsverfahren, in denen Einstreu eingesetzt wird, sollte ausreichend sauberes, trockenes und tierhygienisch unbedenkliches Einstreumaterial verwendet werden. In der Regel dient Lang- oder Häckselstroh als Einstreumaterial. Ein häufiges und ausreichendes Nachstreuen (Tabelle 5) sowie regelmäßiges Entmisten fördern die Absorption von Feuchtigkeit und verringern die Ammoniakfreisetzung.

Emissionsarme Lauflächen und Laufhöfe

Sauberkeit und Trockenheit werden durch eine vollständige und gründliche Reinigung aller Lauflächen gefördert und sind wichtige Voraussetzungen zur Reduktion der Emissionen.

Eine kontinuierliche Reinigung erfolgt bei planbefestigten Böden mit stationären Entmistungssystemen (Abbildung 9). In der Regel laufen diese Systeme mehrmals täglich, mindestens alle 2 Stunden. Alternativ werden die Exkremente von den Lauflächen auch mit mobilen Geräten, z. B. einem Hofschlepper mit Räumschild, in Abwurfsschächte oder in ein Dunglager abgeschoben. Die Reinigungsqualität ist

umso besser, je ebener der Boden ist. Der Schieber muss dem Boden entsprechend angepasst sein, denn bei Unebenheiten bilden sich emissionsaktive Pfützen, die die Klauengesundheit gefährden.

Bei Spaltenböden werden die Exkremente in darunterliegende Kanäle getreten und von dort in Intervallen oder kontinuierlich ins Flüssigmistlager geführt. Die Güllelagerung sollte in einem abgedeckten Außenlager und nicht in einem Güllekeller erfolgen. Durch den Einsatz von Reinigungsrobotern (Abbildung 10), die den aufliegenden Kot regelmäßig in die Spalten schieben, können die Lauflächen sauber gehalten werden. Dies gilt insbesondere für Quergänge, die ansonsten nur händisch gereinigt werden können. Der Einsatz von Sprüheinrichtungen auf Spalten- oder planbefestigten Böden verbessert den Reinigungseffekt und führt zu einer Emissionsminderung, da die Oberflächen sauber gehalten werden und schneller abtrocknen.

Eine rasche Kot-Harn-Trennung vermindert die Ammoniakemissionen. Für planbefestigte Laufgänge und Spaltenböden gibt es spezielle Bodenbeläge, bei denen durch leicht geneigte, glatte oder profilierte Oberflächen der Harn schnell von der Laufläche in Harnrinnen oder Spalten abfließen kann. Mithilfe speziell an den Boden angepasster, kammartiger Spaltenschieber wird der Reinigungseffekt erhöht.

Abbildung 9

Stationäre Schieberentmistung, die Flüssigmist und Einstreureste mehrmals täglich aus dem Stall entfernt



Foto: Brigitte Eurich-Menden

Abbildung 10

Entmistungsroboter werden verstärkt zur Reinigung von Spaltenböden im Laufgang eingesetzt



Foto: agrarfoto.com

Bei Spaltenböden resultiert ein Teil der Ammoniakemissionen aus dem Flüssigmist, der sich unter den Spalten befindet. Je geringer der Luftaustausch zwischen dem Flüssigmist in den Kanälen und dem Stall ist, desto geringer ist das Potenzial zusätzlicher Ammoniakfreisetzung von dort. Dies kann z. B. durch spezielle, selbstverschließende Gummiklappen in den Spalten erreicht werden.

Derartige emissionsarme Laufflächen werden vor allem in den Niederlanden eingesetzt. In Deutschland erfolgt dies bisher nur vereinzelt. Die Böden haben ein Emissionsminderungspotenzial, dessen Höhe unter deutschen Betriebsbedingungen aktuell (KTBL 2020) noch untersucht wird. Auch bestehen bisher noch keine Langzeiterfahrungen mit diesen Systemen.

Laufhöfe tragen zur Tierwohlsteigerung bei, vergrößern jedoch die emissionsaktive Oberfläche und können somit zu einer Steigerung der Ammoniakemissionen führen. Wie im Stall ist auf eine regelmäßige Reinigung und zeitnahe Beförderung der Exkreme in abgedeckte Außenlager zu achten. Werden Laufhöfe vollständig überdacht, können diese nach der Reinigung auch bei Regen besser abtrocknen. Dadurch wird das Emissionspotenzial reduziert und der Eintrag von Niederschlagswasser verringert.

Weidehaltung

Bei der Ausscheidung auf der Weide werden Harn und Kot räumlich getrennt abgesetzt. Der Harn kann rasch in den Boden einsickern. Das aus der Harnstoffspaltung resultierende Ammoniak wird als Ammonium an Bodenpartikel gebunden und kann dadurch nicht freigesetzt werden.

Bei einem Stall-Weide-System wirkt auch der leere Stall als Emissionsquelle. Erst nach vollständigem Abtrocknen aller emittierenden Oberflächen kann von einer geringeren Emission ausgegangen werden. Die Reinigung der Flächen sollte somit direkt nachdem die Tiere den Stall verlassen haben, erfolgen. Um eine relevante Emissionsminderung von bis zu 15 % zu erreichen, werden daher eine Weidedauer von mindestens 6 Stunden je Tag und 180 Tagen im Jahr sowie ausreichend große Weideflächen vorausgesetzt (Eurich-Menden et al. 2011). Bei Vollweidesystemen von Jungrindern, Mutterkühen und Milchkühen mit mindestens 150 Vollweidetagen werden Emissionsminderungen von maximal 25 bis 30 % erwartet (Ogink et al. 2014).

Weide stellt im Gegensatz zum Auslauf Futter zur Verfügung. Der Besatz an Tieren und das Weidemanagement sind daher am aktuellen Futterzuwachs zu orientieren. Damit wird auch das mit der Beweidung einhergehende Risiko erhöhter Nitratauswaschung vermieden.

Vermeidung von Futterverlusten

Futterreste, die auf dem Futtergang nicht nachgeschoben werden oder auf die Lauffläche fallen, werden von den Tieren nicht mehr aufgenommen und gelangen ungenutzt in den Wirtschaftsdünger. Dort werden sie mikrobiell zersetzt und tragen auch zu den Ammoniakemissionen bei. Damit möglichst wenig Futter auf die Lauffläche im Fressgang fällt, hat sich eine etwa 30 bis max. 40 cm hohe, geschlossene Begrenzung zwischen Futtertisch und Laufgang bewährt. Auch beim Abschlucken fallen häufig Futterreste auf den Boden. Dies kann durch hohe Fressgitter mit oder ohne Selbstfangeinrichtung sowie Palisadengitter vermindert werden (Abbildung 11).

Abbildung 11

Hohe Fressgitter reduzieren Futterverluste



Foto: Wolfgang Büscher

Einsatz von Ureaseinhibitoren

Ureaseinhibitoren hemmen die Wirkung des Enzyms Urease bei der Harnstoffhydrolyse und damit die Bildung und Freisetzung von Ammoniak. Bisherige Untersuchungen im Labor- und Praxismaßstab in Milchviehställen lassen bei täglicher Anwendung ein Ammoniakminderungspotenzial im Stall von im Mittel 40 bis 50 % erwarten (Hagenkamp-Korth et al. 2015, Bobrowski et al. 2021). Weitere Untersuchungen sind notwendig, um Anwendungsempfehlungen zu erarbeiten. Auch belastbare Aussagen zur Wirtschaftlichkeit liegen zurzeit noch nicht vor. Bevor Ureaseinhibitoren im Stall eingesetzt werden können, müssen noch zulassungsrechtliche Fragen geklärt werden.

3.2.2 Schweinehaltung

Die Haltung von Mastschweinen auf Voll- oder Teilspaltenböden mit Flüssigmistverfahren erfolgt überwiegend in wärmegeprägten, geschlossenen Ställen mit Zwangslüftung. Eingestreute Haltungsverfahren oder in mehrere Funktionsbereiche strukturierte Haltungsverfahren werden meist in freigelüfteten Ställen, die als Außenklimaställe bezeichnet werden, mit und ohne Auslauf realisiert.

Für die Sauenhaltung gibt es eine Vielzahl unterschiedlicher Haltungssysteme. Die bisher einstreulose Haltung bei tragenden und gütigen Sauen wird zunehmend durch Gruppenhaltungssysteme mit Einstreu und getrennten Funktionsbereichen abgelöst.

Stallbauweise und Lüftung

Die Bauart des Stalls und technische Maßnahmen können in der Schweinehaltung zur Reduzierung der Ammoniakemissionen beitragen. Wichtigste Ansatzpunkte in zwangsgelüfteten oder freigelüfteten Ställen sind in Tabelle 6 zusammengefasst.

In Außenklimaställen sollen große Lüftungs- oder Seitenwandöffnungen, die durch engmaschige Windschutznetze oder Jalousien reguliert werden können, einen ausreichenden Luftwechsel gewährleisten. Der Luftwechsel kann gefördert werden, wenn der Stall ohne Hindernisse frei angeströmt wird. Deshalb wird empfohlen, die Längsachse des Stalles quer zur Hauptwindrichtung auszurichten. Die Stalldecke sollte wärmegeprägt sein, um eine starke Erwärmung der Stallluft im Sommer und eine Kondensatbildung an der Stalldecke im Winter zu

Tabelle 6

Maßnahmen zur Emissionsminderung in zwangsgelüfteten Ställen und Außenklimaställen

Maßnahme	Zwangsgelüftete Ställe	Außenklimaställe
Wärmedämmung des Daches	✓	✓
Aktive Kühlung der Zuluft	✓	–
Luftführung mit geringer Geschwindigkeit über emittierenden Flächen	✓	–
Anteil und Sauberkeit emittierender Flächen durch Buchtenstrukturierung	✓	✓

vermeiden. Unter extremen Sommerbedingungen sollten zur Vermeidung von Hitzestress Umluftventilatoren zugeschaltet werden können.

Bei zwangsgelüfteten Ställen kann eine Zuluftführung mit geringer Geschwindigkeit durch eine Rieselkanal- oder Futterganglüftung realisiert werden. Niedrige Luftgeschwindigkeiten im Bereich emissionsaktiver Oberflächen sowie die Vermeidung von Luftströmungen an der Gülleoberfläche im Güllekanal sollten beim Bau und Betrieb von Schweineställen auf Flüssigmistbasis beachtet werden.

Zur Minderung der Emissionen kann die Zuluft durch wassergespeiste Kühlpads an der zentralen Außenluftöffnung oder auch Unterflurzuluft durch den Betonunterbau gekühlt werden. Im Sommer ist eine Hochdruckvernebelung von Wasser im Abteil ebenfalls möglich, eine Vernässung der Buchten ist dabei zu vermeiden. Eine geringere Temperatur der Zuluft fördert außer der Emissionsminderung auch das Wohlbefinden der Tiere.

Die Lüftung hat wesentlichen Einfluss auf die Sauberkeit der Liegefläche. Schweine nutzen zum Liegen in der Bucht gut belüftete, jedoch keine Zugluft aufweisende Plätze. In der Praxis wird hierzu in zwangsgelüfteten Ställen die Lüftung mit Rieseldecken über dem Liegebereich empfohlen, die zusätzlich an heißen Sommertagen mit einer Strahllüftung aus Decken- oder Wandventilen ergänzt wird.

In Außenklimaställen ohne Auslauf sind aufgrund der geringeren Jahresdurchschnittstemperatur gegenüber zwangsgelüfteten Ställen geringere Ammoniakemissionen zu erwarten. Zudem ermöglichen größere und strukturierte Buchten das Anlegen

von Funktionsbereichen u. a. durch Ruheboxen, planbefestigte, saubere Liegebereiche und ausgewiesene Kotbereiche an der Außenwand. Nutzen die Schweine die Funktionsbereiche, führt dies zu einer geringeren Verschmutzung der emissionsaktiven Oberflächen. An sehr heißen Sommertagen sind die Abdeckungen der Ruheboxen hochzuklappen, um einen Wärmestau und etwaige Verschmutzungen in der Kiste zu verhindern. Außenklimaställe sind gemäß BVT-Schlussfolgerungen (Kapitel 9) auf europäischer Ebene als BVT eingestuft. Entsprechende Anforderungen werden in Deutschland in der TA Luft umgesetzt.

Entmistung – Flüssigmistverfahren

Zur Förderung eines raschen Abflusses des Harns in den Güllekanal können Böden mit einer leichten Neigung bzw. glatten Oberflächen eingesetzt werden. Mit dem Einsatz von dreidimensionalen Strukturspaltenböden aus Kunststoff mit einem Schlitzanteil von 3,8 % gegenüber einem Standardspaltenboden aus Beton konnte eine Ammoniakreduzierung von rund 23 % im Winter bzw. 37 % im Sommer erzielt werden (Austermann 2016).

Im Vergleich zu Vollspaltenböden kann bei Teilspaltenböden der Kot besser in die Kanäle durchgetreten werden. Um auch bei geringeren Besatzdichten zu gewährleisten, dass der Kot durch die Spalten getreten wird, ist eine Strukturierung in planbefestigte Liegebereiche und perforierte Aktivitäts- und Kotbereiche sinnvoll. Das regelmäßige Entleeren der Güllekanäle auch während der Mastperiode in ein abgedecktes Außenlager trägt grundsätzlich zur Emissionsminderung aus dem Stall bei.

Unterflurschieberentmistung mit Kot-Harn-Trennung

Die Unterflurschieberentmistung mit Kot-Harn-Trennung besteht aus flachen Flüssigmistkanälen unter perforierten Böden, deren Kanalsole ein Gefälle von 5 bis 10 % hin zu einer mittig angeordneten Harnrinne aufweist, in die der Harn separat vom Kot ablaufen kann. Die Harnrinne ist bis auf einen Längsschlitz abgedeckt. Der Kanalboden wird regelmäßig mit einem Unterflurmistschieber entmistet, der auch die Harnrinne erfasst (Abbildung 12). Mit diesem System werden die Harnstoffhydrolyse und die Ammoniakbildung im Stall wirksam reduziert und in den Lagerbehälter verschoben.

Erfahrungen zur Kot-Harn-Trennung liegen bisher aus Frankreich, Niederlande, USA und Kanada vor. Die Emissionsminderung für Ammoniak in vollperforierten zwangsgelüfteten Ställen wird mit 40–80 % angegeben (Harmon et al. 2014). Es werden auch Emissionen von Geruch, Klimagasen und Schwefelwasserstoff gemindert.

Zunehmend wird das System auch im Auslauf von Außenklimaställen eingesetzt. Die Wirksamkeit zur Emissionsminderung der Kot-Harn-Trennung und in Kombination mit Ureaseinhibitoren wird im Rahmen eines Forschungsvorhabens untersucht (KTBL 2020).

Abbildung 12

Unterflurschieber im Mistgang des Schrägbodenstalles



Foto: Wilhelm Pflanz

Gülleabkühlung

Durch Kühlen der Gülle in den Flüssigmistkanälen des Stalles werden die Ammoniakemissionen vermindert. Dazu werden Kühlrohre oder -schlangen beim Neubau im Kanalboden, bei der Nachrüstung auf dem Kanalboden eingebaut. Ein System arbeitet mit Kühlelementen, die in der aufgestauten Gülle schwimmen. Die Gülleabkühlung kann mit Brunnenwasser oder einer Wärmepumpe erfolgen. Beim Betrieb einer Biogasanlage kann die BHKW-Abwärme in einer Absorptionskälteanlage eingesetzt werden, wodurch die Energiekosten reduziert werden können.

Die Maßnahme ist gemäß BVT-Schlussfolgerungen auf europäischer Ebene als BVT eingestuft und wird in der TA Luft in das deutsche Recht umgesetzt. Die Wirksamkeit zur Emissionsminderung unter deutschen Bedingungen wird derzeit im Rahmen von Forschungsvorhaben untersucht (KTBL 2020).

Verkleinerter Güllekanal

Durch den Einbau von glatten, geneigten Seitenwänden aus Kunststoff oder Edelstahl in Güllekanäle mit V-förmigem Querschnitt, die Begrenzung des Einstaus durch einen Überlauf und eine regelmäßige Entmistung werden die emissionsaktiven Oberflächen verkleinert. Um eine Emissionsminderung zu erreichen, müssen die geneigten Seitenflächen sauber gehalten und gegebenenfalls gespült werden.

Für laktierende Sauen in Kastenstandhaltung kann eine Emissionsreduzierung durch Verkleinern der emittierenden Fläche erreicht werden, indem unterhalb der Spalten eine Wanne mit schrägem Unterboden eingebaut wird, auf dem die Gülle zum niedrigsten Punkt abfließt.

Die Maßnahme ist gemäß BVT-Schlussfolgerungen auf europäischer Ebene als BVT eingestuft und wird in der TA Luft in das deutsche Recht umgesetzt. Die Wirksamkeit zur Emissionsminderung unter deutschen Bedingungen wird derzeit im Rahmen von Forschungsvorhaben untersucht (KTBL 2020).

Festmistverfahren

Es sollte ausreichend sauberes, trockenes, möglichst staubfreies und tierhygienisch unbedenkliches Einstreumaterial verwendet werden, in der Regel Langstroh. Ein häufiges Nachstreuen und regelmäßiges Entmisten fördern die Absorption von Feuchtigkeit und verringern die Ammoniakfreisetzung.

Tabelle 7

Orientierungswerte für Stroheinstreu bei verschiedenen Mastschweine-Haltungsverfahren

Haltungsverfahren	kg Stroh/ Tier und Tag
Außenklimastall ohne Auslauf	0,3
Außenklimastall mit Auslauf, eingestreut	0,8
Tiefstreu	0,7 bis 1,2
Schrägboden	0,1 bis 0,3

Quelle: KTBL 2018

Schrägbodenställe, in denen ein Teil der Fläche mit geneigten Böden ausgestattet ist, ermöglichen einen schnellen Abfluss von Urin und durch die Tierbewegung einen Transport des Kot-Stroh-Gemisches in den tieferliegenden Buchtbereichen (Abbildung 13). Ist dieser Bereich perforiert und etwas höher gelegt, wird das Kot-Stroh-Gemisch durch den Spalt in den Bereich unter dem Spaltenboden getreten und kann mit einem Unterflurschieber regelmäßig aus dem Stall gebracht werden. Das System kann auch als Flüssigmistsystem mit einer Einstreumenge von 50 g je Tier und Tag betrieben werden.

Ausläufe

Werden Ställe mit einem Auslauf betrieben, ist besonders auf eine Strukturierung und klare Trennung von Funktionsbereichen sowie eine angepasste Reinigung/Entmistung des Auslaufs zu achten.

Abbildung 13

Schrägbodenstall

Foto: Wilhelm Pflanz

Ausläufe fördern die Sauberkeit der festen Liegeflächen im Stallinneren, da Schweine aufgrund ihres natürlichen Verhaltens Exkreme und Harn in der Regel weit entfernt vom Liege- und Fressbereich absetzen. Der Außenbereich bzw. der Auslauf werden zum Koten und Harnen bevorzugt. Dies kann zu höheren Emissionen im Auslauf führen. In den Sommermonaten muss jedoch gewährleistet sein, dass es im Stallinneren kühler als im Auslauf ist, ansonsten kann es zu einer Umkehr der Funktionsbereiche kommen. Hierbei hat es sich bewährt, die Stallgebäude bis zum späten Vormittag möglichst geschlossen zu halten, um das Kältepolster aus den frühen Morgenstunden lange im Stall zu bewahren. Ist dies nicht mehr möglich, empfiehlt es sich, an heißen Tagen eine Strahlüftung über dem Tierbereich einzusetzen, um die Wärme abzuführen.

Damit die Emissionen im Auslauf so gering wie möglich gehalten werden, ist dieser mehrfach in der Woche zu reinigen.

Bei Spaltenböden im Auslauf können geringe Besatzdichten dazu führen, dass kein zufriedenstellender Kotdurchtritt stattfindet und sich somit der Anteil der emittierenden Oberfläche erhöht. Hier müssen die Spaltenböden regelmäßig gereinigt werden. Die Wirksamkeit des Einsatzes eines Unterflurmistschie-

Abbildung 14

Eingestreuter planbefestigter Auslauf mit Überdachung

Foto: Brigitte Eurich-Menden

bers mit Kot-Harn-Trennung zur Emissionsminderung im Auslauf wird derzeit im Rahmen von Forschungsvorhaben untersucht (KTBL 2020).

Bei planbefestigten Ausläufen erfolgt die Entmistung in Kombination mit frischer Einstreu in Abhängigkeit des Mistzustandes. Die Reinigungsfrequenz ist abhängig von Menge und Qualität der Einstreu. Es muss so viel Einstreu vorhanden sein, dass eine vollständige Bindung von Kot und Harn im Stroh gewährleistet ist. Planbefestigte Flächen im Auslauf sollten mit Gefälle zu einer Jaucherinne hin versehen sein, damit Harn und Niederschlagswasser schnell abfließen können und die Einstreu trocken gehalten

wird. Eine vollständige Überdachung des Auslaufs vermeidet den Eintrag von Niederschlagswasser. Dadurch können die Emissionen ebenfalls reduziert werden. Ist der Auslauf nicht überdacht, sollte eine kontinuierliche Reinigung des Auslaufs erfolgen.

3.2.3 Geflügelhaltung

Legehennen werden zu über 90 % in Boden- oder Volierenställen gehalten, oft in der Kombination mit einem Auslauf. In der Bodenhaltung mit Volierengestellen werden Kotbänder zum Abtransport des Kotes eingesetzt. In der Bodenhaltung ohne Volierengestellen wird der Kot in Kotgruben gesammelt.

Tabelle 8

Ausgewählte Maßnahmen zur Minderung der Ammoniakemissionen in der Geflügelhaltung

Minderungsmaßnahmen	Legehennenhaltung (Boden- und Volierenhaltung mit Kaltscharrraum ohne Auslauf)	Mastgeflügel (geschlossener Stall ohne Auslauf)
Lüftungsauslegung	Bei Neubauten in geschlossenen Ställen sollten die Lüftungsverfahren so ausgelegt werden, dass die Feuchtigkeit unter allen Witterungs- und Saisonverhältnissen ausgetragen wird (DIN 18910, 2017).	
Vermeidung von Kondensat und nassen Stellen	Maßnahmen zur Vermeidung der Kondensation von Wasser auf der Bodenplatte, z. B. durch Isolierung und Einbau einer Bodenheizung. Pekingenten: Einrichtungen für das Wasserangebot sind über perforierten Böden mit Drainage zu installieren.	
Einstreu	Verwendung von qualitativ hochwertiger Einstreu, trocken und sauber; ausreichende Einstreumengen gewährleisten, nachstreuen nach Bedarf:	
	2,5 bis 3 kg je m ² Scharrfläche und Jahr	zu Beginn der Mastperiode bzw. Nachstreu Masthuhn: 0,6 bis 2,4 kg Einstreu/TP und Jahr; je nach Art der Mast, z. B. Kurzmast oder Langmast Puten: 4,5 bis 15,6 kg Einstreu/TP und Jahr je nach Geschlecht und Art der Mast, z. B. Kurzmast oder Langmast Enten bei täglicher Nachstreu ca. 33 kg/TP und Jahr Stall vor dem Einstreuen und Einstellen der Tiere vorheizen (z. B. Fußbodenheizung)
Entmistung	Entmistung mit belüfteten Kotbändern: mindestens 2-mal je Woche Entmistung in geschlossenen Lagerbehälter Wiederbefeuchtung bereits getrockneten Kotes unbedingt vermeiden	regelmäßige Entmistung spätestens am Ende eines Mastdurchgangs; Entfernen und Nachstreuen feuchter Stellen
Tränken	keine Tränken im eingestreuten Bereich Verwendung von Nippeltränken mit Auffangschalen	Verwendung von Nippeltränken mit Auffangschalen, höhenverstellbare Tränken

Quelle: KTBL 2018

Masthähnchen, Puten und Enten werden in der Regel in Bodenhaltung, d. h. auf eingestreuten, befestigten Bodenflächen gehalten. Die Haltung erfolgt überwiegend in wärmegeämmten, geschlossenen Ställen mit Zwangslüftung aber auch in Außenklimaställen. Hinsichtlich der Ammoniakemissionen gibt es keine gesicherten Unterschiede zwischen diesen beiden Stallbauweisen.

Minderungsmaßnahmen

In Tabelle 8 sind die Maßnahmen zur Verringerung der Emissionen in der Geflügelhaltung für Legehennen und Mastgeflügel zusammengefasst.

Die wichtigsten Minderungsmaßnahmen in der Legehennenhaltung sind die Trocknung des Kotes und die regelmäßige Kotabfuhr aus dem Stall in ein überdachtes Lager, z. B. über Kotbänder wie in der Volierenhaltung. Werden die Kotbänder mit einer Rate von 0,4 bis 0,5 m³ je Tier und Stunde belüftet und der Kot getrocknet, bevor sich die Harnsäure zu Ammoniak umsetzen kann, wirkt sich das besonders mindernd auf die Emissionen aus. Dafür muss ein Trockensubstanzgehalt von mindestens 60 % im Kot erreicht werden.

In der Mastgeflügelhaltung sind die ausreichende Einstreu und regelmäßiges Nachstreuen die wichtigsten Maßnahmen. Zudem sollte der Stallboden wärmegeämmt sein, um ein Vernässen der Einstreu durch Kondensatbildung zu verhindern. Der Einbau einer Fußbodenheizung führt zu trockener Einstreu und somit zu einer Emissionsminderung. Tränken dürfen nicht tropfen oder Leckagen aufweisen. Austretendes Wasser muss in Schalen aufgefangen werden.

3.3 Abluftreinigung

Die Abluftreinigung ist ein sehr wirksames, betriebsstabiles und prüfbares Verfahren zur Minderung von Ammoniakemissionen, welches nur in zwangsbelüfteten Ställen betrieben werden kann. Sie kann zur Reinigung des gesamten Volumenstromes oder zur Teilstromreinigung zum Einsatz kommen. Es liegen für bislang 24 Verfahren Eignungsprüfungen vor. Alle geprüften Verfahren, außer konventionellen Biofiltern, gewährleisten bei ordnungsgemäßer Betriebsweise eine dauerhafte Abscheidung von mindestens 70 % an Ammoniak, in vielen Fällen werden auch 90 % erreicht (DLG 2015). Bei der Teilstromreinigung von zum Beispiel 60 % der

Abbildung 15

Abluftreinigungsanlage an einem Mastschweinstall



Foto: Sebastian Bönsch

Auslegungsluflrate können bei einem Ammoniak-Abscheidegrad von 70 % mindestens 42 % der Ammoniakemissionen reduziert werden. Derzeit sind eignungsgeprüfte Anlagen für die flüssigmistgebundene Haltung von Schweinen und Mastkälbern sowie für eingestreute Verfahren der Masthähnchen- und Legehennen-Haltung verfügbar. Für einen optimalen Anlagenbetrieb ist eine elektronische Erfassung von prozessrelevanten Betriebsdaten unverzichtbar. Mit Ihrer Hilfe kann der Betrieb optimiert und eine wirksame Reinigungsleistung gegenüber Dritten dokumentiert werden.

In der Praxis wird das Waschwasser von biologisch betriebenen Anlagen zusammen mit dem Flüssigmist gelagert und ausgebracht. Waschwasser aus chemisch betriebenen Anlagen in denen der pH-Wert des Waschwassers mit Schwefelsäure abgesenkt wird, ist hingegen getrennt und in dafür zugelassenen Lagerbehältern zu lagern und kann als besonderer Ausgangsstoff für mineralische Düngemittel verwertet werden. Die anfallende Waschwassermenge und damit ein erheblicher Teil der Verfahrenskosten hängen im Wesentlichen von der Höhe der zu erwartenden Ammoniakemissionen aus dem Stall ab. Maßnahmen zu deren Verringerung führen damit auch zu geringeren Verfahrenskosten.

3.4 Ansäuerung von Gülle im Stall – Rind und Schwein

Die Ansäuerung von Gülle im Stall ist in Deutschland noch nicht verbreitet, einzelne Anlagen sind jedoch bereits genehmigt. Techniken mit hohem Sicherheitsstandard sind für die Gülleansäuerung in Rinder- und Schweineställen sowie Güllelagern verfügbar. Sie sind vor allem für große Tierhaltungsanlagen geeignet.

Durch Ansäuerung der im Stall gelagerten Gülle wird aus dem in der Gülle vorhandenen NH_4^+ weniger NH_3 gebildet und freigesetzt (Kapitel 1). Um dies

sicherzustellen wird ein pH-Wert von 5,5 in der Gülle angestrebt. Die Gülle wird hierzu in einen speziellen Reaktor außerhalb des Stalles geleitet und dort mit Säure versetzt. Ein Teil der angesäuerten Gülle wird dann zurück in den Stall gepumpt, der Rest wird in das Güllelager überführt. Da so auch im Lager der pH-Wert niedrig ist, werden die Ammoniakemissionen im gesamten Güllemanagement vom Stall über das Lager bis hin zur Ausbringung minimiert. Im Mastschweinestall verringern sich die Ammoniakemissionen so um 60 bis 70 %. Im Rinderstall kommt es zu rund 50 % weniger Emissionen (Riis 2016, VERA 2016, Kaupenjohann et al. 2019). Hinzu kommt eine deutliche Verringerung der Methanemissionen.

Da in der Regel Schwefelsäure zur Ansäuerung eingesetzt wird, muss zwingend darauf geachtet werden, Schwefelsäure mit sehr geringen Schwermetallgehalten einzusetzen, um Einträge in den Boden zu vermeiden. Außerdem müssen Obergrenzen für die Schwefelapplikation entsprechend dem Schwefelversorgungszustand des Bodens und dem S-Bedarf der Kulturpflanzen eingehalten werden (Kaupenjohann et al. 2019). Dies kann die Anwendbarkeit dieser Technik insbesondere im Stall einschränken, da hier mehr Säure benötigt wird im Vergleich zur Ansäuerung bei der Ausbringung von Gülle (Kapitel 5). Die Ansäuerung der Gülle mit Schwefelsäure behindert eine Nutzung der Gülle zur Biogaserzeugung.

Um die Rechtssicherheit für Behörden und Betreiber zu erhöhen, besteht noch Anpassungsbedarf der rechtlichen Rahmenbedingungen. In Deutschland ist die Anwendung von Säuren zur Minderung von Emissionen aus Gülle unter den gesetzlichen Bedingungen bereits jetzt möglich (Kaupenjohann et al. 2019). Die Maßnahme ist gemäß BVT-Schlussfolgerungen aus dem Jahr 2017 auf europäischer Ebene als BVT eingestuft und wird in der Verwaltungsvorschrift TA Luft in das deutsche untergesetzliche Regelwerk umgesetzt.

3.5 Gute Fachliche Praxis im Haltungsbereich

Allgemein

- ▶ Vermeidung von Futterverlusten
- ▶ geringe Temperaturen und Strömungsgeschwindigkeiten an emittierenden Oberflächen ermöglichen, beispielsweise durch Zuluftkühlung oder bei Außenklimaställen durch Berücksichtigung der Hauptwindrichtung
- ▶ Sauberkeit und Trockenheit in Aktivitäts- und Liegeflächen sowie in Stallgängen durch regelmäßige Reinigung
- ▶ schnelles Abführen von Flüssigmist aus dem Stall; Lagerung des Flüssigmistes in separaten, abgedeckten Behältern außerhalb des Stalles

Bei eingestreuten Verfahren

- ▶ Verwendung ausreichender Einstreumengen, damit Kot und Harn vollständig gebunden werden können
- ▶ Sicherstellung eines geregelten Jaucheabflusses durch Gefälle und Rinnen bei Haltungssysteme, die die vollständige Bindung des Harns nicht gewährleisten
- ▶ regelmäßiges Entmisten bzw. Ein-/Nachstreuen
- ▶ Sicherstellung der Funktionssicherheit von Tränken

Rind

- ▶ mehrmaliges tägliches Abschieben der Laufgänge
- ▶ regelmäßiges Abschieben des Laufhofs
- ▶ Überdachung des Laufhofs
- ▶ Ausdehnung der Weidehaltung
- ▶ Dämmung des Daches

Schwein

- ▶ Verringerung emittierender Oberflächen
- ▶ Absenken der Temperaturen der Stallluft und in der Gülle
- ▶ Gülle im Stall nur kurzfristig lagern; Außenlagerung in geschlossenen bzw. abgedeckten Behältern
- ▶ Außenklimaställe mit wirksamen Funktionsbereichen einsetzen; Ausläufe bedürfen einer gesonderten Betrachtung
- ▶ Förderung der Ausbildung von Funktionsbereichen
- ▶ mehrmaliges Abschieben des Auslaufs in der Woche
- ▶ Überdachung des Auslaufs
- ▶ Abluftreinigung mit eignungsgeprüfter Technik für IED-Anlagen

Geflügel

- ▶ Entmistung bevorzugt mit belüfteten Kotbändern (Jung- und Legehennen)
- ▶ bei unbelüfteten Kotbändern, 2-malige Entmistung in der Woche in Kombination mit Kottrocknung empfohlen (Jung- und Legehennen)
- ▶ Einsatz von Nippeltränken mit Auffangschalen (Legehennen und Mastgeflügel)
- ▶ Einsatz von höhenverstellbaren Tränken (Mastgeflügel)
- ▶ Abluftreinigung mit eignungsgeprüfter Technik für IED-Anlagen (Legehennen, Masthähnchen)

4 Maßnahmen bei der Lagerung von Wirtschaftsdüngern

4.1 Allgemeine Grundsätze

Im Jahr 2019 lag der Anteil der Ammoniakemissionen, die während der Lagerung entstehen, zwischen 12 % in der Schweinehaltung und 25 % in der Geflügelhaltung (Abbildung 4). Die mit den Ammoniakemissionen verlorengegangenen Nährstoffe machen ihre Düngewirkung weniger gut kalkulierbar.

Beim Bau und Betrieb von Anlagen zur Lagerung von Wirtschaftsdüngern sind die geltenden rechtlichen Regelungen des Wasserhaushaltgesetzes, des Bundes-Immissionsschutzgesetzes und des Düngegesetzes zu beachten. Darüber hinaus sind Güllebehälter bei immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftigen Anlagen bzw. IED-Anlagen nach TA Luft Nr. 5.4.7.1 bzw. BVT-Schlussfolgerungen (2017) abzudecken.

Der Stickstoff liegt in den flüssigen Wirtschaftsdüngern überwiegend als Ammonium und in festen Wirtschaftsdüngern in organisch gebundener Form vor. Das Verhältnis von Ammonium zu Gesamtstickstoff in Wirtschaftsdüngern schwankt in Abhängigkeit von der Tierart, der Fütterung, der tierischen Leistung, dem Wassereintrag, der Art der Lagerung sowie der Lagerdauer.

Die Ammoniakverluste des lagernden Wirtschaftsdüngers steigen mit der Zunahme der Ammoniumkonzentration, der Temperatur, des pH-Wertes, der emittierenden Oberfläche, der Intensität der darauf einwirkenden Luftbewegung und der Belüftung bzw. der Häufigkeit der Umsetzung während der Lagerung.

Die Reduzierung des Luftaustauschs über dem Wirtschaftsdünger und ein Absenken der Lagertemperatur tragen zur Verringerung von Ammoniakemissionen aus Güllelagern bei (Kapitel 1). Eine Reduzierung der Ammoniakemissionen bei der Lagerung erhöht die Stickstoffgehalte in der Gülle, weshalb besonders darauf zu achten ist, die Gülle mit emissionsmindernder Technik auszubringen (Kapitel 5).

4.2 Minderungsmaßnahmen bei der Lagerung

4.2.1 Flüssige Wirtschaftsdünger

Rinder- und Schweinegülle werden sowohl im Stall unter dem Spaltenboden als auch in außenliegenden separaten Behältern gelagert. Zu den Besonderheiten im Bereich der Gärrestlagerung wird auf Kapitel 7 verwiesen.

Im Stall anfallende Kot- und Harnmengen sollten kontinuierlich oder in kurzen Zeitabständen in ein separates, abgedecktes Güllelager überführt werden. Je weniger Gülle im Stall gelagert wird, desto weniger Ammoniak kann aus der gelagerten Güllemenge freigesetzt werden.

Gute fachliche Praxis ist die Lagerung von Gülle in Hoch- und Tiefbehältern. Die Befüllung sollte unterhalb der Gülleoberfläche erfolgen. Es ist günstig, das Verhältnis von Behälteroberfläche zu Behältervolumen klein zu halten.

Die Abdeckungen von Güllelagern sollten aus festen Materialien wie Betondecken und Zeltdächern oder aus Schwimmfolien und Schwimmkörpern bestehen. Zu den besonderen Anforderungen bei der Lagerung von Gärresten wird auf Kapitel 7 verwiesen.

Feste Abdeckungen von Lagerbehältern

Zu den festen Abdeckungen für Lagerbehälter zählen Betondecken und Zeltdächer. Sie bieten die beste Emissionsminderung. Feste Abdeckungen verhindern den Eintrag von Niederschlag. So ist weniger Lagervolumen erforderlich und eine Verdünnung der Gülle wird verhindert. Auf einen zusätzlichen Freibord für Regenwasser kann verzichtet werden. Bei Neubauten sollte grundsätzlich eine feste Abdeckung gewählt werden.

Abbildung 16

Abdeckung mit einem Zeltdach

Foto: Brigitte Eurich-Menden

Betondecken bieten die längste Nutzungsdauer. Dem geringen Wartungsaufwand stehen jedoch hohe Investitionskosten gegenüber. Ist der Behälter im Hofbereich eingelassen und die Betondecke befahrbar, so ergibt sich eine zusätzlich nutzbare Hoffläche.

Zeltdachkonstruktionen sind feste Abdeckungen, die in Abhängigkeit von der Statik mit einer Mittelstütze gebaut werden müssen. Wurde bereits bei der Erstellung des Behälters eine Mittelstütze vorgesehen, kann die Zeltdachkonstruktion auch nachträglich auf den Behälter aufgesetzt werden.

Abdeckung mit Schwimmfolien

Schwimmfolien aus Kunststoff sind entweder mit Schwimmelementen in Sandwich-Bauweise befüllt oder werden mit Schwimmkörpern an der Oberfläche gehalten. Dadurch gleitet die Abdeckung mit steigendem und sinkendem Flüssigkeitsspiegel an der Behälterwand entlang.

Über Wartungsöffnungen lassen sich z. B. Rührwerke von oben über der Behälterwand zum Homogenisieren einbringen. Niederschlagswasser muss regelmäßig abgepumpt werden. Wird es beispielsweise über

die Wartungsöffnungen in die Gülle geleitet, erhöht sich das Lagervolumen. Staut es sich dagegen auf der Folie, kann diese in die Gülle einsinken.

Abdeckungen aus Schwimmfolien sind kostengünstiger als Zeltdächer und können bei statischer Einschränkung für die Nachrüstung von Behältern eingesetzt werden.

Abdeckung mit Schwimmkörpern

Sechseckig ausgeformte flache Schwimmkörper aus Kunststoff bilden eine nahezu geschlossene Schwimmdecke auf der Gülleoberfläche. Vertikale Rippen in den Schwimmkörpern verhindern, dass die einzelnen Elemente übereinander geschoben werden. Sie sind in der Regel nur für Schweinegülle oder andere dünnflüssige Wirtschaftsdünger geeignet, die nicht zur Bildung von natürlichen Schwimmdecken neigen. Für Rindergülle sind die Schwimmkörper nicht geeignet. Beim Homogenisieren und Abpumpen der Gülle ist besondere Sorgfalt erforderlich, um mögliche Verstopfungen oder Beschädigungen an den technischen Einrichtungen zu verhindern. Schwimmkörper weisen eine ähnliche Emissionsminderung wie Schwimmfolie auf und können wie diese gut zur Nachrüstung von Behältern eingesetzt werden. Niederschlagswasser kann nicht abgeleitet werden und führt zur Erhöhung des Lagervolumens.

Abbildung 17

Abdeckung mit Schwimmkörpern

Foto: KTBL

4.2.2 Feste Wirtschaftsdünger

Zu den festen Wirtschaftsdüngern zählen der Festmist von Huf- und Klautentieren sowie von Geflügel, die Feststoffe aus der Separation von Gülle oder Gärrest sowie getrockneter Hühnerkot.

Geflügelmist wird abgedeckt auf einer befestigten, flüssigkeitsundurchlässigen Oberfläche sowie geschützt gegen Oberflächenabfluss (AwSV 2017) oder in einer geschlossenen Halle gelagert, Hühner-trockenkot wird in einer geschlossenen Halle außerhalb des Stalls gesammelt. Durch die Abdeckung bzw. Lagerung in einer Halle wird eine Wiederbe-feuchtung effektiv verhindert und die Emissionen dadurch reduziert.

Auch Festmist von Rindern und Schweinen muss auf einer flüssigkeitsundurchlässigen Oberfläche sowie geschützt gegen Oberflächenabfluss gelagert werden (AwSV 2017). Abfließende Jauche ist in einem abfluss-losen Jauchebehälter aufzufangen (DIN 11622). In einigen Bundesländern ist es auch erlaubt, Festmist für eine begrenzte Zeit am Feldrand zu lagern.

Sowohl bei der Hof- als auch bei der Feldrandlage-rung von Festmist treten Ammoniakemissionen auf, die sich durch folgende Maßnahmen reduzieren lassen:

► Abdeckung

Ammoniakemissionen können durch eine Abdeckung mit Folie oder wasserabweisendem Vlies gemindert werden. Darüber hinaus leitet eine Abdeckung das Niederschlagswasser ab und reduziert den Jaucheanfall. Dies kann auch durch eine Überdachung erreicht werden. Lagerstätten, die ständig beschickt werden, können nicht abge-deckt werden. Auch Festmist, bei dem sich eine längere Lagerung am Feldrand nicht vermeiden lässt, sollte abgedeckt werden.

► Oberfläche des Stapels klein halten

Um die Emissionen gering zu halten, sollte eine kompakte Mistlagerung mit einer kleinen Ober-fläche angestrebt werden. Eine hohe Stapelung und eine kleine Lagerfläche im Verhältnis zum Lagervolumen wirken sich hier positiv aus.

Abbildung 18

Überdachtes Festmistlager



Foto: Brigitte Eurich-Menden

Beim Einsatz von Presskolben- und Presskanalschiebern wird der Miststapel von unten beschickt. An der Oberfläche des Miststapels kann durch Austrocknen eine Kruste entstehen, die emissionsmindernd wirkt.

4.3 Gute Fachliche Praxis bei der Lagerung von Wirtschaftsdüngern

Flüssige Wirtschaftsdünger

- ▶ Verhältnis von Behälteroberfläche zu Behältervolumen klein halten
- ▶ Abdeckung der Lagerbehälter mit einer festen Abdeckung (Betondecke oder Zeltdach)
- ▶ Sind feste Abdeckungen auf bestehenden Behältern nicht mit vertretbarem Aufwand möglich, können Folien oder Schwimmkörper nachgerüstet werden.
- ▶ Befüllung unterhalb der Gülleoberfläche

Feste Wirtschaftsdünger

- ▶ trockene Lagerung auf feuchtigkeitsundurchlässigem Untergrund
- ▶ Abdeckung oder Überdachung der Miete
- ▶ Verringerung der Oberfläche des gelagerten Festmistes
- ▶ Sammlung der Jauche und des Sickerwassers in geschlossenen Behältern

Geflügel

- ▶ Geflügeltrockenkot: geschlossenes Lager
- ▶ Geflügelmist:
 - ▶ trockene Lagerung auf feuchtigkeitsundurchlässigem Untergrund
 - ▶ Abdeckung oder Überdachung der Miete

5 Emissionsarme Ausbringung von Wirtschaftsdüngern

5.1 Allgemeine Grundsätze

Die Ausbringung von Wirtschaftsdüngern ist eine bedeutende Einzelquelle für Ammoniakemissionen. Gemessen an den Gesamtemissionen betragen die Ammoniakfreisetzungen bei der Ausbringung von Wirtschaftsdüngern in der Rinderhaltung 49 %, in der Geflügelhaltung erreichen sie einen Anteil von 41 % und in der Schweinehaltung 21 % (Abbildung 4).

Für landwirtschaftliche Betriebe, die Wirtschaftsdünger anwenden, bestehen hier die effizientesten Möglichkeiten zur Verringerung von Ammoniakemissionen. Werden Ammoniakemissionen im Stall oder bei der Lagerung vermieden, führt dies zu größeren Mengen an Ammonium in der Gülle. Daher geht ein großer Teil der dort erreichten Emissionsminderung wieder verloren, wenn keine geeigneten Maßnahmen während der Ausbringung ergriffen werden.

Bei der Ausbringung von Gülle auf Grünland ist die Gewährleistung der Futterhygiene zu beachten, da evtl. am Aufwuchs anhaftende Güllereste direkt in die Futterkette gelangen können. Je fließfähiger die Gülle ist, je passender die Witterung und je unmittelbarer die Gülle auf dem oder in den Boden abgelegt wird, umso geringer ist das Risiko der Kontamination.

Ammoniakemissionen bei der Ausbringung von Wirtschaftsdüngern werden geringer, wenn:

- ▶ die freie Oberfläche des ausgebrachten Düngers klein ist. Deshalb ist eine streifenförmige Ablage besser als eine breitflächige Verteilung.
- ▶ der ausgebrachte Wirtschaftsdünger nur kurze Zeit der Luft ausgesetzt ist.
- ▶ die Lufttemperatur über der gedüngten Fläche gering ist (Abbildung 19).
- ▶ die Fließfähigkeit der Gülle hoch ist. Dies ist in der Regel bei geringen Trockenmassegehalten oder Niederschlägen während oder kurz nach der Ausbringung gegeben. Dadurch wird das Abfließen der Wirtschaftsdünger von den Pflanzen und das Eindringen in den Boden beschleunigt.

- ▶ der Luftaustausch über dem gedüngten Boden gering ist. Dies wird erreicht, wenn die Gülle in einem dichten Pflanzenbestand zwischen die Pflanzen direkt auf den Boden abgelegt wird.

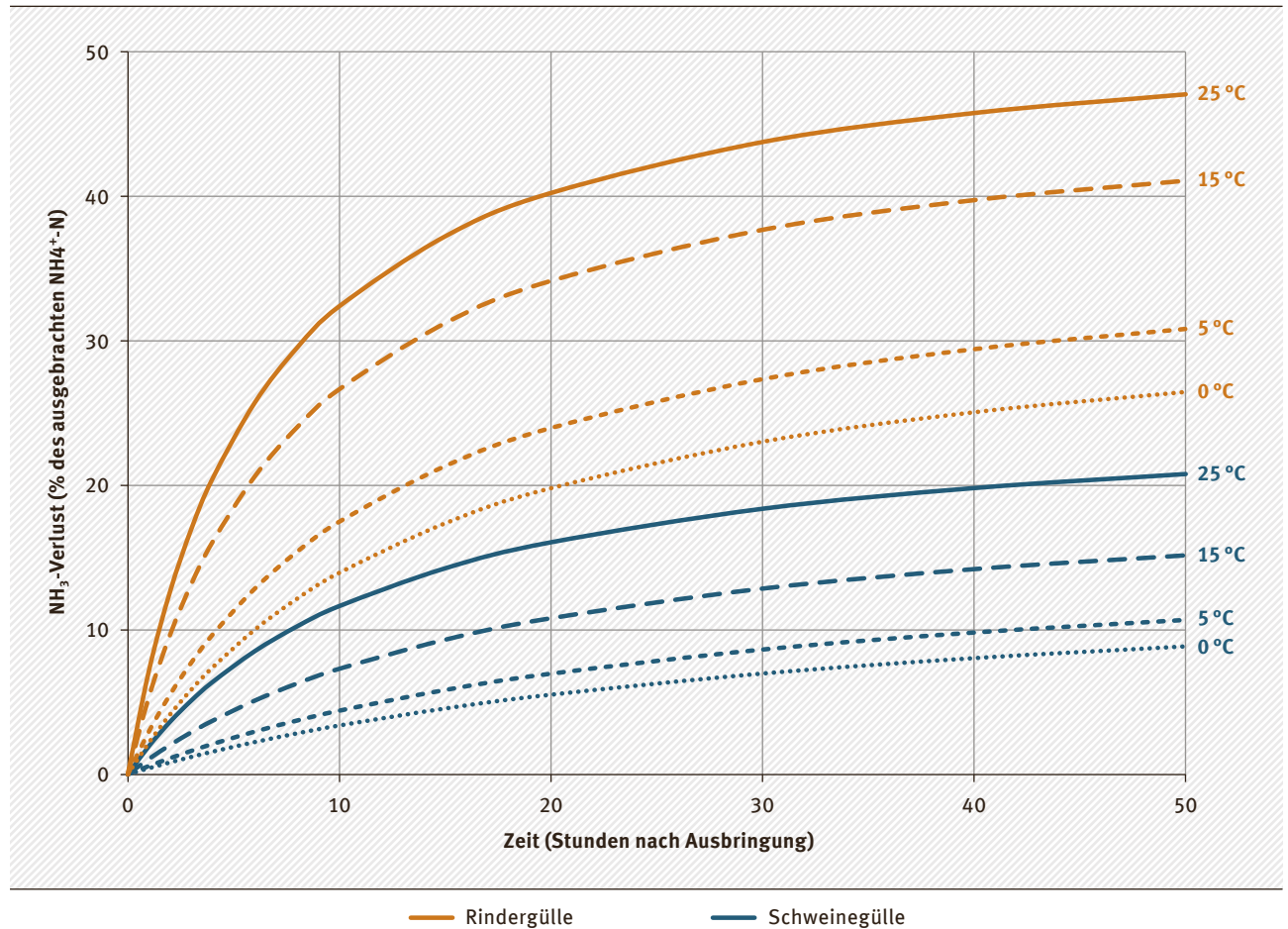
Aus diesen Gründen ist es wichtig, folgende organisatorische Aspekte bei der Ausbringung von Wirtschaftsdüngern zu beachten:

- ▶ Ausbringung bevorzugt an kühlen Tagen mit zu erwartenden stärkeren Schauern oder mit länger anhaltendem leichtem Regen. Jedoch besteht in Hanglagen bei sehr starken Regenereignissen ein verstärktes Abschwemmungsrisiko und auf feuchtem Boden kann es eher zu einer Schädigung der Bodenstruktur durch das Befahren kommen.
- ▶ Ausbringung bevorzugt in den Abendstunden, kurz vor Sonnenuntergang. In diesen herrschen in der Regel niedrige Temperaturen und geringe Windgeschwindigkeiten.
- ▶ Keine Ausbringung in den heißen Sommermonaten, sondern vorzugsweise bei kühleren Temperaturen in der Zeit von Mitte Februar bis Ende April. Bei diesen Ausbringterminen ist auch gewährleistet, dass der ausgebrachte Stickstoff von den Nutzpflanzen gut verwertet wird.
- ▶ Keine Ausbringung auf wassergesättigten, ausgetrockneten oder dicht gelagerten Böden, in die flüssige Wirtschaftsdünger nur schlecht infiltrieren können.
- ▶ Keine Ausbringung von Wirtschaftsdüngern in einer Menge, die über den ermittelten Nährstoffbedarf der zu düngenden Kultur hinausgeht. Dies kann zu erheblichen N-Verlusten nicht nur durch Ammoniakfreisetzung und Nitratauswaschung, sondern auch durch Denitrifikation führen.

Die Ausbringung von Wirtschaftsdüngern kann wegen der Geruchsfreisetzungen von Anwohnern als störend empfunden werden. In der Nähe von Ortschaften ist daher die Berücksichtigung der Windrichtung bzw. die Einhaltung entsprechender Abstände empfehlenswert. In der Regel führen Maßnahmen zur Verminderung der Ammoniakemissionen auch zu einer geringeren Geruchsbelastung.

Abbildung 19

Temperaturabhängigkeit der Ammoniakfreisetzung von mit dem Schleppschlauch ausgebrachter Rinder- und Schweinegülle ohne Einarbeitung



Quelle: modifiziert nach Döhler (1990) mit Daten nach ALFAM 1 (Søgaard et al. 2002)

5.2 Minderungsmaßnahmen bei der Ausbringung

5.2.1 Ausbringung flüssiger Wirtschaftsdünger

Zu den flüssigen Wirtschaftsdüngern zählen Gülle, Gärreste und Jauche. Bei der Ausbringung dieser Dünger bestehen wirksame und besonders kostengünstige Möglichkeiten zur Emissionsminderung. Die Kosten lassen sich durch einen überbetrieblichen Einsatz emissionsmindernder Techniken, z. B. durch Maschinengemeinschaften, Maschinenringe und Lohnunternehmer erheblich reduzieren.

Die früher weit verbreiteten Breitverteiler bringen die flüssigen Wirtschaftsdünger breitflächig auf die Boden- und Pflanzenoberfläche auf. Ihr Einsatz ist mit erheblichen Ammoniakemissionen verbunden, weil eine große Kontaktfläche zwischen dem

Wirtschaftsdünger und der Umgebungsluft und ein ungehinderter Luftaustausch über der Gülleoberfläche möglich sind. Daher ist ihr Einsatz durch die Vorgaben der Düngeverordnung auf bestelltem Ackerland nicht mehr zulässig und auf Grünland nur noch bis 2025 erlaubt.

Verkürzung der Einarbeitungszeit auf unbestelltem Acker

Die NH₃-Emissionen sind unmittelbar nach Ausbringung bzw. in den ersten Stunden am höchsten. Die Freisetzung von Ammoniak lässt sich daher erheblich verringern, wenn bei einer Ausbringung auf unbestelltem Acker die Einarbeitung schnell, z. B. innerhalb einer Stunde, am besten aber sofort nach der Ausbringung erfolgt. Häufig ist eine schnelle oder unmittelbare Einarbeitung ohne größere organisatorische Probleme oder höhere Kosten möglich.

Je weniger Wirtschaftsdünger sich nach der Einarbeitung auf der Bodenoberfläche befindet, desto besser ist die emissionsmindernde Wirkung. Zur Einarbeitung werden in der Regel gut mischende Einarbeitungsgeräte eingesetzt. Die richtige Einstellung der Arbeitstiefe und Mischintensität ist von großer Bedeutung. Nach der Änderung der Düngeverordnung aus dem Jahr 2020 wird die einstündige Einarbeitungsfrist für Wirtschaftsdünger mit wesentlichem Gehalt an verfügbarem Stickstoff auf unbestelltem Acker ab 01.02.2025 verpflichtend sein.

Schleppschlauchverteiler

Bei dieser Ausbringtechnik werden die flüssigen Wirtschaftsdünger auf eine Reihe von Schläuchen aufgeteilt. Durch diese Schläuche, die in der Regel einen Abstand von 15 bis 25 cm zueinander haben, erfolgt die Ablage der Wirtschaftsdünger streifenförmig auf die Boden- oder Pflanzenoberfläche. Auf unbewachsenen Flächen muss nach DüV (2017) nachfolgend spätestens innerhalb von vier Stunden und ab 2025 innerhalb einer Stunde eingearbeitet werden.

Die emissionsmindernde Wirkung ist in diesem Fall gegenüber einer Breitverteilung mit Einarbeitung gering. Auf bewachsenen Ackerflächen verringern sich mit dem Schleppschlauchverteiler die Ammoniakemissionen durch die geringere Kontaktfläche zwischen Wirtschaftsdünger und Umgebungsluft im Vergleich zur Breitverteilung um 30 bis 50 %. Die Emissionsminderung ist umso größer, je höher der Pflanzenbestand ist, da durch diesen der Luftaustausch über dem abgelegten Gülleband verringert wird.

Schleppschlauchverteiler erreichen Arbeitsbreiten bis 36 m. Sie sind deshalb besonders gut für den Einsatz in Ackerbaubetrieben geeignet, die bei der Ausbringung in wachsende Bestände die vorhandenen Fahrgassen nutzen wollen. Auf Grünland wird der Wirtschaftsdünger mit dem Schleppschlauch mehr auf als zwischen die Pflanzen abgelegt. Bei dickflüssigen Wirtschaftsdüngern kann dies zu Verklebungen und Verätzungen an den Pflanzen führen. Eine im Vergleich zur Breitverteilung mit nur 10 bis 30 % relativ geringe Emissionsminderung (Webb et al. 2010, Döhler et al. 2002) sowie minderwertige Futterqualitäten und evtl. sogar das Absterben der Pflanzen unter dem Gülleband können die Folge sein.

Abbildung 20

Gülleausbringung mit Schleppschuhverteiler



Foto: Sebastian Wulf

Schleppschuhverteiler

Diese stellen eine Weiterentwicklung der Schleppschlauchverteiler dar. An den Schlauchenden sind hier schuhähnliche Verstärkungen angebracht. Je nach Gewicht, zusätzlichem Druck, sowie Breite und Länge dieser Verstärkungen wird unterschiedlich viel Pflanzenmaterial zur Seite geräumt und der Boden unterschiedlich tief angeritzt. Auf Grünland werden so eine geringere Verschmutzung der Pflanzen und deutlich geringerer Ammoniakemissionen als bei einer Ausbringung mit dem Schleppschlauch erreicht. Das Anritzen des Bodens führt auf bestelltem Acker zu relativ schmalen Düngestreifen und einem schnelleren Eindringen in den Boden. Dies senkt die Ammoniakemission im Vergleich zur Breitverteilung um 40 bis 60 % (Webb et al. 2010, Döhler et al. 2002).

Die Arbeitsbreite von Schleppschuhverteilern von bis zu 24 m ermöglicht bei den meisten landwirtschaftlichen Betrieben die Nutzung vorhandener Fahrgassen. Dadurch sind Schleppschuhverteiler die derzeit am vielseitigsten einsetzbaren Verteiler für flüssige Wirtschaftsdünger. Das ist besonders für Betriebe oder Lohnunternehmen von Vorteil, die Dünger sowohl auf Grünland als auch auf bewachsene und unbewachsene Ackerflächen ausbringen wollen.

Schlitzgeräte

Auch bei den Schlitzgeräten erfolgt zunächst eine Aufteilung der flüssigen Wirtschaftsdünger auf viele Schläuche. Die Schläuche enden an schräg angestellten oder konisch geformten Scheiben, die den Boden streifenweise öffnen. Da die Scheiben schwerer sind und mit mehr Druck belastet werden als Schleppschuhe, dringen sie tiefer als diese in die Grasnarbe bzw. den Boden ein. Durch die etwa 3 bis 6 cm tiefe Ablage und den dann noch schmalen Düngestreifen sind mit Schlitzgeräten Emissionsminderung von 60 bis 80 % (Webb et al. 2010, Döhler et al. 2002) gegenüber einer Breitverteilung möglich. Vorteilhaft ist auch die geringe Verschmutzung der Pflanzen. Schlitzgeräte weisen wegen der tieferen Ablage einen hohen Zugkraftbedarf auf. Das führt zu einer Begrenzung der Arbeitsbreite und schränkt die Einsatzmöglichkeiten in Hanglagen ein.

Die maximale Arbeitsbreite für Schlitzgeräte liegt derzeit bei etwa 12 m. Das ist für das Grünland ausreichend. Für Ackerbaubetriebe, die Fahrgassen zur Ausbringung von Wirtschaftsdüngern nutzen wollen, genügt das nicht. Daher kann es beim Einsatz

Abbildung 21

Einsatz eines Schlitzgerätes zur Gülleausbringung auf Grünland



Foto: Sebastian Wulf

in wachsenden Beständen zu zusätzlichen Spurschäden kommen. Schlitzgeräte gelten sowohl im Hinblick auf die Verminderung von Ammoniakemissionen als auch aus pflanzenbaulicher Sicht als die optimale Technik für den Grünlandeinsatz. Auf sehr schweren Böden sind allerdings Verletzungen der Grasnarbe möglich.

Injektoren

Diese bringen die flüssigen Wirtschaftsdünger auf unbewachsenen Flächen 10 bis 15 cm tief in den Boden ein. Der Boden wird dazu mit Scheiben oder bei Güllegrubbern mit Zinken geöffnet. Unmittelbar hinter diesen Werkzeugen erfolgt die Ablage der Wirtschaftsdünger in den Boden. Dahinter ebnen Walzen oder Striegel den Boden ein. Mit dieser Technik lassen sich auf unbestelltem Acker die Emissionen um etwa 80 % (Webb et al. 2010, Döhler et al. 2002) gegenüber der Ausbringung mit dem Breitverteiler und der in der DüV (2017) vorgeschriebenen Einarbeitung innerhalb von 4 Stunden reduzieren. Damit sind mit dieser Technik die stärksten Emissionsminderungen bei der Ausbringung erreichbar.

Die Arbeitsbreite von Injektoren beträgt derzeit maximal 8 m. Dies ist in dem hohen Zugkraftbedarf dieser Ausbringtechnik begründet, der auch zu einem höheren Kraftstoffverbrauch führt als andere Techniken.

Strip-Till- und Unterfußinjektoren

Diese Spezialinjektoren ermöglichen eine platzierte Düngung mit Wirtschaftsdüngern vor der Aussaat von Reihenkulturen. Strip-Till-Verteiler bestehen häufig aus einer Schneidscheibe, zwei Räum-scheiben, einem Schar mit integriertem Auslauf für die Wirtschaftsdünger und striegel- bzw. walzenförmigen Nachläufern. Sie werden z. B. beim Mais mit einem Reihenabstand von rund 75 cm an einem Gestänge hinten am Güllewagen angeordnet. Diese Verteiler legen die Wirtschaftsdünger in etwa 12 cm Tiefe ab, darüber wird später die Maisreihe ausgesät. Sie sind auch für den Einsatz in stehenden oder abgestorbenen Zwischenfrüchten geeignet.

Die etwas einfacheren Unterfußverteiler sind nicht mit Räum- und Schneidscheiben ausgerüstet. Sie sind nur auf unbewachsenen Flächen einsetzbar, weil sie den Boden nur mit einem schmalen Zinken öffnen. Unmittelbar hinter dem Zinken erfolgt die Ablage der Wirtschaftsdünger. Der eingeschränkten Einsetzbarkeit stehen, im Vergleich zu den Strip-Till-Verteilern, als Vorteile das geringere Gewicht und die niedrigeren Kosten gegenüber. Durch beide Verfahren lassen sich die Ammoniakemissionen im Vergleich zur Breitverteilung auch in einer Größenordnung von etwa 80 % (Webb et al. 2010, Döhler et al. 2002) senken.

Sowohl die Strip-Till- als auch die Unterfußinjektoren sind Spezialtechniken, die bislang nur im Maisanbau zum Einsatz kommen. Außerdem hat sich diese Ausbringtechnik auf tonreichen Böden und in hängigem Gelände nicht bewährt. Die Einsatzmöglichkeiten für diese Technik sind deshalb begrenzt.

Verdünnung und Ansäuerung von Gülle

Durch **Verdünnung** mit Wasser kann die Fließfähigkeit insbesondere von Rindergülle verbessert werden. Gülle, die z. B. auf Grünland mit dem Schleppschlauch ausgebracht wird, fließt so schneller von Pflanzenoberflächen ab. Die Pflanzenverschmutzung wird verringert, die Ammoniakemissionen reduziert und die Düngewirkung der Gülle wird verbessert. Um die Emissionen wirksam zu mindern, muss die

Gülle auf einen Trockensubstanzgehalt von unter 4 % verdünnt werden. Das erfordert oftmals ein Mischungsverhältnis von Wasser und Gülle von 1:1. Die Kosten und die benötigte Zeit für die Ausbringung verdoppeln sich hierdurch. Die Wasserzugabe ist in hängigen Grünlandregionen eine übliche Maßnahme zur Verbesserung der N-Effizienz bei der Güllendüngung.

Bei einer **Ansäuerung** während der Ausbringung wird die Absenkung des pH-Werts auf 6,5 bis 6 angestrebt (Fangueiro et al. 2017). Hierzu wird Schwefelsäure während der Ausbringung über ein automatisches System aus einem mitzuführenden Säurevorratstank direkt in das Verteilungssystem dosiert. Einen Überblick aus durchgeführten Untersuchungen über die eingesetzten Säuremengen geben Kaupenjohann et al. (2019). Durch die Ansäuerung in Verbindung mit der Schleppschlauchablage wird eine Verminderung der Ammoniakemission um ca. 50 % (VERA 2012) gegenüber einer Ausbringung nicht angesäuerter Gülle mit dem Schleppschlauch erreicht. Bei Ansäuerung der Gülle bis pH-Wert 6 können auch höhere Minderungsgrade erzielt werden (Seidel et al. 2017). Gegenüber einer Ausbringung mit dem Breitverteiler auf bestelltem Acker oder Grünland ergibt sich eine Emissionsminderung von ca. 60 %. Damit lassen sich die Ammoniakemissionen etwa auf das Niveau von Schlitztechniken senken.

Da in der Regel Schwefelsäure zur Ansäuerung eingesetzt wird, muss zwingend darauf geachtet werden, Schwefelsäure mit sehr geringen Schwermetallgehalten einzusetzen, um Einträge in den Boden zu vermeiden. Außerdem müssen Obergrenzen für die Schwefelapplikation entsprechend dem Schwefelversorgungszustand des Bodens und dem S-Bedarf der Kulturpflanzen eingehalten werden. Dies kann die Menge an Gülle, die mit dieser Technik ausgebracht wird, einschränken. Für die Ausgleichskalkung ist entsprechend der pH-Pufferfähigkeit des Bodens ein im Durchschnitt höherer Kalkbedarf vorhanden.

Beim Einsatz der Ansäuerung ist darauf zu achten, dass die allgemeinen Sicherheitsanforderungen und die Schadstoffgrenzwerte des Düngerechts eingehalten werden. Es bestehen noch rechtliche Unschärfen, die durch Klarstellungen in der Düngemittelverordnung beseitigt werden können.

5.2.2 Ausbringung fester Wirtschaftsdünger

Zu den festen Wirtschaftsdüngern zählen der Festmist von Huf- und Klauentieren sowie von Geflügel, die Feststoffe aus der Separation von Gülle oder Gärresten sowie getrockneter Hühnerkot.

Bei der Ausbringung dieser Dünger treten, je nach enthaltenem Ammoniumanteil und pH-Wert, unterschiedlich hohe Ammoniakemissionen auf.

Für feste Wirtschaftsdünger werden bislang nur Ausbringetechniken angeboten, die eine breitflächige Verteilung auf die Boden- oder Pflanzenoberfläche ermöglichen. Die Emissionen lassen sich durch eine möglichst schnelle Einarbeitung reduzieren. Hierzu eignen sich Pflüge und Scheibeneggen besser als Grubber, da mit ihnen der an der Oberfläche verbleibende Mist- bzw. Kotanteil geringer ist.

Für Geflügelmist und -kot sowie Feststoffe aus der Separation ist in der Düngeverordnung bei der Ausbringung auf unbestellte Flächen für die Einarbeitung eine Zeitspanne von vier Stunden vorgegeben. Diese lässt sich in der Praxis oftmals verkürzen, ohne dass es zu größeren organisatorischen Problemen oder zu höheren Kosten kommt.

5.3 Gute Fachliche Praxis bei der Ausbringung

Flüssige Wirtschaftsdünger

- ▶ Auf unbewachsenem Acker: Einarbeitung innerhalb einer Stunde nach Ausbringung oder in einem Arbeitsgang, z. B. mit Güllegrubber
- ▶ Im Bestand von Ackerkulturen:
 - ▶ streifenförmige Ablage auf der Bodenoberfläche mit Schleppschlauch- bzw. Schleppschuhverteiltern oder mit Scheibenschlitzgeräten
 - ▶ Ansäuerung in Kombination mit streifenförmiger Ablage auf die Bodenoberfläche
- ▶ Auf Grünland:
 - ▶ streifenförmige Ablage mit Schleppschuhverteilter oder Scheibenschlitzgeräten
 - ▶ Ansäuerung in Kombination mit streifenförmiger Ablage auf die Bodenoberfläche
- ▶ Gültig für alle Flächen: Ausbringung bei kühlen Bedingungen kurz vor Niederschlägen ist besonders vorteilhaft

Feste Wirtschaftsdünger

- ▶ Auf unbewachsenem Acker: Einarbeitung möglichst innerhalb der vorgegebenen Fristen
- ▶ Bewachsener Acker und Grünland: Ausbringung nur breitflächig möglich

6 Emissionsarme Anwendung von synthetischen Düngemitteln

6.1 Allgemeine Grundsätze

Emissionen nach der Anwendung von synthetischen Stickstoffdüngemitteln machten im Jahr 2019 ca. 12 % der Ammoniakemissionen der deutschen Landwirtschaft aus (Abbildung 3). Hauptverantwortlich hierfür sind ammoniumhaltige- oder ammoniumbildende Düngemittel, vor allem Harnstoff und Ammoniumnitrat-Harnstoff-Lösungen (AHL). Diese haben ein hohes Verlustpotenzial. In etwas geringerem Maße gilt dies auch für Ammoniumsulfat und Ammoniumphosphat (EMEP 2019) bei Ausbringung auf Böden mit hohen pH-Werten, da hier Stickstoff ausschließlich als Ammonium vorliegt. Für Harnstoff ist daher der Zusatz von Ureaseinhibitoren oder eine Einarbeitung nach der Ausbringung vorgeschrieben (DÜV 2017). Die Ammoniakverluste aus Ammonium-Nitratdüngemitteln, wie Kalkammonsalpeter, sind dagegen geringer. Sie betragen oft weniger als 1 bis 2 Prozent des Gesamtstickstoffs. Bereits durch die Wahl eines synthetischen Mineraldüngers mit geringem Verlustpotenzial können daher die Emissionen deutlich reduziert werden.

Prinzipiell sind die Emissionen nach Aufbringung synthetischer Düngemittel von den gleichen Faktoren abhängig, wie bei der Düngung mit Wirtschaftsdüngern. Bei der Ausbringung bei feuchter und kalter Witterung, sowie auf Böden mit hoher Sorptionsfähigkeit und niedrigem pH-Wert sind die Verluste geringer. Die Applikationsform, fest oder flüssig, ist von untergeordneter Bedeutung. Größer ist der Einfluss der Landnutzung. So sind die Ammoniakemissionen häufig auf Grünland höher als auf Ackerland. Wie bei der Düngung mit Wirtschaftsdüngern führen Maßnahmen zur Emissionsminderung zu einer Erhöhung der N-Effizienz. Hierfür ist auch auf eine in Zeitpunkt und Menge auf den Nährstoffbedarf der Pflanzen angepasste Düngung zu achten (Kapitel 8).

Harnstoffdünger wird in der Regel synthetisch hergestellt. Pflanzen nehmen nur in geringem Umfang Harnstoff direkt auf. Der größte Teil wird bei ausreichender Feuchtigkeit relativ schnell nach der Aufbringung durch das frei im Boden vorkommende Enzym Urease zu Ammoniak und

Kohlendioxid umgesetzt. Die Geschwindigkeit der Harnstoffumsetzung wird in erster Linie von der Bodentemperatur beeinflusst. Durch die Harnstoffspaltung kommt es zu einer lokalen Erhöhung des pH-Wertes. Da das Gleichgewicht von Ammoniak und Ammonium pH-abhängig ist, kommt es so zu verstärkten NH_3 -Emissionen (Kapitel 1). In Böden mit hoher Pufferkapazität ist dieser Effekt geringer als in schlecht gepufferten Böden.

Ammoniakverluste nach der Düngung von Harnstoff setzen nach ca. 2 bis 3 Tagen ein und somit deutlich später als nach der Ausbringung von Gülle. Sie sind auf leichten, sandigen Böden mit einem geringen Tongehalt am höchsten. Nach der Einarbeitung von Harnstoff in den Boden ist durch den direkten Bodenkontakt die Verlustgefährdung stark reduziert. Das gebildete Ammoniak wird im Bodenwasser gelöst und bindet als Ammonium-Stickstoff an die anorganischen Sorptionsträger des Bodens, wie Tonminerale und an Humuskomplexe.

Ammoniumnitrat-Harnstoff-Lösungen enthalten etwa 50 % Harnstoff und je 25 % Ammonium- bzw. Nitrat-Stickstoff. Sie werden häufig oberflächlich auf Böden und Pflanzenbestände appliziert. Im Vergleich zu Harnstoff sind die auf die gedüngte N-Menge bezogenen Ammoniakverluste von AHL meist geringer, da der enthaltene Stickstoff nur zur Hälfte als Harnstoff vorliegt. Wird AHL im Bestand auf die Blätter ausgebracht, kann es durch die große entstehende Oberfläche trotzdem zu erheblichen Ammoniakverlusten kommen. Dies gilt insbesondere, wenn AHL bei späteren Düngemaßnahmen und somit höheren Temperaturen angewendet wird. Eine grobtropfige bodennahe Ausbringung ist daher vorzuziehen.

6.2 Minderungsmaßnahmen bei der Anwendung

6.2.1 Harnstoffdüngemittel

Um die Ammoniakemissionen nach der Aufbringung von Harnstoff und AHL auf ein Mindestmaß zu reduzieren und die Düngereffizienz zu erhöhen, können verschiedene Minderungsmaßnahmen eingesetzt werden.

Ureaseinhibitoren

Durch die Verwendung eines Ureaseinhibitors wird die Harnstoffumsetzung um 1 bis 2 Wochen verzögert. Die Erhöhung des lokalen pH-Wertes wird abgeschwächt und der Dünger hat mehr Zeit, um in den Boden eingewaschen zu werden. Gegenüber einer oberflächlichen Ausbringung ohne Inhibitor kann so eine Minderung der Ammoniakemissionen um bis zu 70 % bei festem Harnstoffdünger erreicht werden (Bittman et al. 2014). Es sind auch Ureaseinhibitoren für AHL verfügbar. Diese können allerdings erst kurz vor Ausbringung zugemischt werden, da sie in der Lösung nur eine Stabilität von ca. 1 Woche aufweisen. Mit ihnen lassen sich die Ammoniakemissionen aus AHL um 40 % reduzieren (Bittman et al. 2014).

Nachträgliche Einarbeitung

Wird kein Ureaseinhibitor verwendet, muss Harnstoff unverzüglich, jedoch spätestens innerhalb von 4 Stunden nach der Aufbringung in den Boden eingearbeitet werden. Dies gilt besonders für Vorsaatterfahren auf unbewachsenen Böden oder im wachsenden Bestand und kann durch gezielte Ablage und Einarbeitung des Düngers zwischen den Reihen erreicht werden. Hierdurch können die Emissionen um etwa 50 bis 80 % gegenüber einer Harnstoffdüngung ohne Einarbeitung reduziert werden (Bittman et al. 2014). Nicht möglich ist die Einarbeitung auf Grünland.

Zeitpunkt der Ausbringung

Einen wichtigen Einfluss auf die Ammoniakemissionen hat auch der Zeitpunkt der Ausbringung. Generell sollten Harnstoff und AHL möglichst bei einer kühlen und feuchten Witterung ausgebracht werden. Dies ist besonders bei einer Kopfdüngung später im Jahr zu beachten. Eine Ausbringung am Abend ist der Ausbringung morgens oder mittags vorzuziehen.

6.2.2 Andere synthetische Düngemittel

Auch nach der Ausbringung von anderen ammoniumhaltigen Stickstoffdüngemitteln wie Ammoniumsulfat und Ammoniumphosphat können nennenswerte Ammoniakemissionen entstehen. Dies gilt vor allem, wenn diese Düngemittel nicht nach den Anwendungsempfehlungen für die Praxis ausgebracht werden, die z. B. bei Vorsaatterfahren eine Einarbeitung vorsehen. Das Verlustpotenzial hängt bei diesen Düngemitteln weitestgehend vom pH-Wert des Bodens ab. Auf Böden mit pH-Werten < 7,0 ist es deutlich geringer als auf kalkhaltigen Böden mit pH-Werten > 7,5. Generell können auch für diese Düngemittel durch eine Einarbeitung und die Wahl des Ausbringtermins die Ammoniakemissionen begrenzt werden.

6.3 Gute Fachliche Praxis bei der Anwendung synthetischer Düngemittel

- ▶ Zugabe von Ureaseinhibitoren bei Harnstoffdüngemitteln
- ▶ Einarbeitung der Düngemittel in den Boden
- ▶ Ausbringung bei kühler und feuchter Witterung
- ▶ Vermeidung der Ausbringung von AHL auf Pflanzenoberflächen
- ▶ Wahl eines Düngemittels mit geringem Emissionspotenzial

7 Besondere Aspekte der Biogaserzeugung

7.1 Allgemeine Grundsätze

Die Biogaserzeugung hat in Deutschland einen bedeutenden Anteil an der Erzeugung erneuerbarer Energien. Oft ist sie eng mit der Landwirtschaft verbunden, da Biogasanlagen zu einem großen Teil durch Landwirte betrieben werden. Die Substrate zur Biogaserzeugung stammen vorwiegend aus der Landwirtschaft (Wirtschaftsdünger, Energiepflanzen) und die entstehenden Gärreste werden in der Regel als Düngemittel eingesetzt.

Biogasanlagen bestehen meist aus einem oder mehreren Fermentern, Nachgärern und Gärrestbehältern. Fermenter und Nachgärer sind gasdicht. Nur über die Überdrucksicherungen kann Biogas freigesetzt werden, was im Regelbetrieb nicht der Fall sein sollte. Da im Biogas nur wenig Ammoniak enthalten ist, sind die auf diesem Wege freigesetzten Mengen an NH_3 gering. NH_3 -Emissionen an Biogasanlagen entstehen vor allem bei der Lagerung und Ausbringung der Gärreste. Biogasanlagen, die mehr als 1,2 Mio. m^3 Biogas je Jahr erzeugen, dies

entspricht bei 8.000 Volllaststunden einer elektrischen Leistung von ca. 300 kW, sind nach 4. BImSchV genehmigungspflichtig. Für diese gelten die Vorgaben der TA Luft, die eine Abdeckung der Gärrestlager zur Emissionsminderung vorsieht (Kapitel 4). In Biogasanlagen werden in Deutschland neben Gülle und Mist auch Energiepflanzen in größeren Mengen eingesetzt. Deren Nutzung als Substrat erhöht die im Kreislauf befindliche Menge an Stickstoff und somit das Verlustpotenzial für NH_3 . Die hierdurch entstehenden Ammoniakemissionen betragen rund 10 % der Gesamtemissionen in Deutschland (Kapitel 1).

Die Eigenschaften von Gärresten sind ähnlich denen von Gülle, variieren aber stark in Abhängigkeit der eingesetzten Substrate. Die Ammonium-N-Anteile in Gärresten aus Rindergülle und aus rohfaserreichen Energiepflanzen wie Silomais betragen meist zwischen 50 und 60 %. In Gärresten aus Schweinegülle und aus Substraten mit hoher Abbaubarkeit können Ammonium-N-Anteile am Gesamt-N von 70 bis 80 % erreicht werden (Möller et al. 2017).

Abbildung 22

Biogasanlage mit Fermenter (vorne) und gasdicht abgedecktem Gärrestlager (rechts hinten)



Foto: Mark Paterson

Durch die Vergärung von sehr stickstoffreichen Substraten, z. B. Geflügelkot, kann es zu hohen Gesamtgehalten an Stickstoff und Ammonium-N-Anteilen in Gärresten kommen. Auch bei der Nutzung sehr eiweißreicher Substrate wie Speiseabfällen ist dies der Fall. Zudem steigt durch die Vergärung der pH-Wert. Dieser ist in der Regel in Gärresten etwas höher als in Gülle. Das Verlustpotenzial für Ammoniak ist somit größer (Abbildung 5). Maßnahmen zur Minderung von NH_3 -Emissionen sind daher für Gärreste aus der Biogaserzeugung besonders wichtig.

7.2 Minderungsmaßnahmen bei der Biogaserzeugung

Auswahl von Substraten

Durch den Einsatz von Substraten mit geringem N-Gehalt werden hohe N-Gehalte im Fermenter und in den Gärresten vermieden. Dies hat auch positive Auswirkungen auf die Vergärung, da hohe NH_3 -Konzentrationen hemmend auf die an der Vergärung beteiligten Mikroorganismen wirken.

Lagerung

Emissionen aus Gärresten treten nicht auf, solange diese sich in Fermentern oder Gärrestlagern mit gasdichten Abdeckungen befinden, die an das gasführende System angeschlossen sind.

Für Wirtschaftsdünger vor der Vergärung und für Gärreste, die das gasdichte System verlassen, sollten Maßnahmen zur Verringerung der Ammoniakemissionen angewendet werden, wie sie im Kapitel 4 für die Lagerung von Gülle und Festmist beschrieben sind, z. B. durch ein Zeltdach. Gleiches gilt für die Abdeckung von Vorgruben oder Einbringsystemen, die zugleich eine Vorratsfunktion haben.

Bei einer offenen Lagerung von Feststoffen aus der Separierung kann das enthaltene Ammonium zu mehr als 75 % als Ammoniak freigesetzt werden (Ebertseder et al. 2016). Eine Abdeckung der Feststoffe verhindert dies.

Trocknung von Feststoffen aus der Separierung

Auf einigen Biogasanlagen werden Feststoffe aus der Separierung unter Nutzung der Abwärme des BHKW getrocknet. Hierbei geht das enthaltene Ammonium als NH_3 in die Abluft über. Daher sollten Trocknungsanlagen für Gärreste nur mit einer Abluftreinigung und Rückgewinnung des NH_3 aus der Abluft betrieben werden.

Ausbringung

Wegen des im Vergleich zu Gülle meist höheren Ammoniumgehaltes und pH-Wertes ist eine emissionsarme Ausbringung für Gärreste besonders wichtig. Hier liegt das größte Potenzial zur Verringerung der Ammoniakemissionen in der Biogaserzeugung. Die dafür geeigneten Maßnahmen sind dieselben wie für Gülle und im Kapitel 5 beschrieben.

7.3 Gute Fachliche Praxis in der Biogaserzeugung

- ▶ Nutzung N-armer Substrate für die Vergärung. Hierdurch werden hohe N-Gehalte im Gärrest vermieden.
- ▶ Wenn möglich, Gärreste gasdicht lagern.
- ▶ Außerhalb der gasführenden Systeme Maßnahmen zur emissionsarmen Lagerung und Ausbringung der Gärreste wie bei Gülle (Kapitel 4 und 5) nutzen.
- ▶ Trocknung von Gärresten nur mit einer Abluftreinigung, in der freigesetztes Ammoniak zurückgewonnen wird.

8 Steigerung der Stickstoffeffizienz

Maßnahmen zur Minderung von NH_3 -Emissionen können zu einer Erhöhung der N-Effizienz landwirtschaftlicher Betriebe beitragen, wenn auf geringere N-Verluste im Stall, bei der Güllelagerung und der Ausbringung geachtet wird. Die Gesamtmenge an ausgebrachter Gülle bzw. die Aufwandmenge an Mineraldünger sollte entsprechend reduziert werden. Neben direkten Maßnahmen zur Verminderung von NH_3 -Emissionen, die in den vorangegangenen Kapiteln beschrieben wurden, gibt es weitere Maßnahmen, die zu einer Verbesserung der N-Effizienz in der Landwirtschaft beitragen. Durch diese lassen sich N-Emissionen im Allgemeinen reduzieren. Sie sind daher geeignet, Maßnahmen zur Minderung von NH_3 -Emissionen zu unterstützen.

8.1 Einzelbetriebliches Nährstoffmanagement

Die Kenntnis über die Nährstoffgehalte von Düngemitteln und Futtermitteln sowie über den Nährstoffbedarf von Tier und Pflanze ist eine wichtige Grundlage zur Steigerung der Nährstoffeffizienz landwirtschaftlicher Betriebe. Zu Maßnahmen, mit denen die N-Effizienz erhöht werden kann, gehören daher:

Ermittlung der Nährstoffgehalte in Düngemitteln und Futter

Insbesondere in Wirtschaftsdüngern können die Gehalte an organischem und mineralischem Stickstoff stark schwanken. Für eine gezielte Düngung ist es jedoch wichtig, die Nährstoffgehalte möglichst genau zu kennen. Gleiches gilt für die Futterplanung und -berechnung, für die Kenntnisse zu den Inhaltsstoffen der Erntegüter und Futtermittel unverzichtbar sind.

Die erforderlichen Analysen können durch Labore durchgeführt werden. Wichtig ist eine gute Homogenisierung der flüssigen Wirtschaftsdünger im Lager, sowohl für die Probenahme als auch für die Entnahme zur Düngung, da sich während der Lagerung die Gülle stark entmischt und die Nährstoffe nicht gleichmäßig in der gelagerten Gülle enthalten sind. Einzelne Lohnunternehmer verfügen auch über Ausbringgeräte, an denen unmittelbar bei der

Ausbringung die jeweils aktuellen Stickstoffgehalte gemessen und präzise N-Mengen gedüngt werden können.

Bedarfsorientierte Fütterung und Düngung

Für die Höhe der Düngung und der Fütterung sind Kenntnisse zu den Erträgen im Pflanzenbau bzw. der täglichen Zunahmen oder der Milchleistung in der Nutztierhaltung notwendig. Düngungs- und Fütterungsempfehlungen zu den jeweiligen Ertrags- und Leistungserwartungen stellt die landwirtschaftliche Beratung zur Verfügung. Hinsichtlich der Erträge ist zwischen Ernte- und Futterertrag zu unterscheiden (DLG 2016a). Die Verluste zwischen Ernteertrag und Maul der Nutztiere gilt es gering zu halten.

In vielen Fällen ist es schwer abzuschätzen, ob die Ertragserwartung einer Kultur erreicht werden kann. Der Ertrag ist stark von der Witterung beeinflusst, die nicht für die gesamte Vegetationsperiode vorhersehbar ist. Daher kann es sinnvoll sein, die Stickstoffdüngung auf mehrere Gaben aufzuteilen, um eine zu hohe N-Versorgung von Kulturen zu vermeiden, deren Ertragsentwicklung hinter den Erwartungen zurückbleibt. Allerdings sollten insbesondere mit Wirtschaftsdüngern nur wenige Düngungsmaßnahmen durchgeführt werden, da bei kleineren Gaben die NH_3 -Emissionen im Verhältnis zum gedüngten N gegenüber größeren Gaben erhöht sein können. Zudem ist ein häufiges Überfahren der Flächen mit schwereren Geräten gegenüber Aspekten des Bodenschutzes abzuwägen, besonders auf Böden bzw. bei Witterungen, die zu Bodenverdichtungen neigen.

Beachtung von Nährstoffungleichgewichten

Bei der Düngung mit Wirtschaftsdüngern ist wichtig zu beachten, dass diese Mehrnährstoffdünger sind. Sie enthalten weitere Nährstoffe, für die eine angepasste Düngung beachtet werden sollte. Dies betrifft vor allem Phosphat. Auf vielen Standorten, vor allem in Regionen mit hohen Tierzahlen, ist die mögliche N-Düngung mit Gülle durch deren P-Gehalte bei hohen P-Gehalten im Boden eingeschränkt.

Erstellung von N-Bilanzen:

Zur Abschätzung der betrieblichen N-Effizienz ist die Erstellung von N-Bilanzen wichtig. Für bestimmte tierhaltende Betriebe sowie bestimmte Betriebe mit Biogasanlagen ist eine betriebliche Stoffstrombilanz für Stickstoff und Phosphor durch die Stoffstrombilanzverordnung (StoffBilV, 2017) bereits seit 2018 verbindlich vorgeschrieben. Die Gegenüberstellung von Stickstoffzufuhren in den Betrieb (N-Düngemittel, Futtermittel, Tiere, N-Fixierung durch Leguminosen und atmosphärische Stickstoffdeposition) abzüglich der gesamten Stickstoffabgaben in pflanzlichen und tierischen Produkten sowie Wirtschaftsdüngern ermöglicht eine Berechnung der betrieblichen N-Bilanz. Werden Maßnahmen zur Steigerung der N-Effizienz ergriffen, kann deren Wirksamkeit anhand solcher Bilanzen betriebsintern analysiert, dokumentiert und bewertet werden.

8.2 Aufbereitung von Wirtschaftsdüngern

In Gebieten mit einer hohen Viehbesatzdichte und einer hohen Anzahl an Biogasanlagen können nicht immer alle anfallenden Wirtschaftsdünger und Gärreste sinnvoll pflanzenbaulich verwertet werden. Darüber hinaus entspricht das Verhältnis von Stickstoff zu Phosphor in Wirtschaftsdüngern häufig nicht dem Bedarf der Pflanzen.

Durch die Aufbereitung von Wirtschaftsdüngern werden Nährstoffe so angereichert, dass sie gezielter und somit effizienter zur Düngung eingesetzt werden können oder transportwürdiger sind als nicht aufbereitete Wirtschaftsdünger.

Die einfachste und am häufigsten angewendete Form der Aufbereitung ist die Eindickung oder Separierung. Insbesondere in Futterbaubetrieben wird die Gülleseparation bei Einsatz der flüssigen Phase auf Grünland und Verwertung der festen Phase in Biogasanlagen genutzt. In der Dünnpfase liegt der

Stickstoff überwiegend in mineralischer Form vor, der P-Gehalt ist geringer. Hierdurch weist die Dünnpfase häufig ein für die Düngung geeigneteres Verhältnis von P und unmittelbar düngewirksamem N auf. P und organischer N wird in der eingedickten/festen Phase angereichert. Allerdings enthält auch die Festphase noch relevante Mengen an Ammonium. Feststoffe aus der Separierung sollten möglichst abgedeckt gelagert werden, da aus diesen bei einer offenen Lagerung das enthaltene Ammonium zu > 75 % als Ammoniak freigesetzt wird (Ebertseder und Lichti 2016). Eine Trocknung der Feststoffe sollte nur in Verbindung mit einer Abluftreinigung zur Rückgewinnung des Ammoniaks aus der Trocknerabluft erfolgen.

Mit technisch aufwendigen Verfahren kann die Flüssigphase aus der Separierung weiter behandelt werden. Dies ist durch Eindampfung, Strippung, Membranverfahren oder Kombinationen hieraus möglich. Ziel ist immer die Konzentrierung der Nährstoffe in einem oder mehreren Endprodukten und ein möglichst nährstoffarmes weiteres Produkt. In manchen Fällen kann, z. B. durch Umkehrosmose, eine so starke Aufreinigung gelingen, dass dieses in Gewässer eingeleitet werden kann. Stickstoff wird in der Regel als Ammonium in Lösung, z. B. Ammoniumsulfatlösung, angereichert. Diese Düngelösungen können bodennah emissionsarm ausgebracht werden. Wenn Ammoniumsulfatlösung aus der Aufbereitung zur Erhöhung des N-Gehaltes mit Gülle oder Gärresten vor der Ausbringung vermischt wird, muss in besonderem Maße auf eine emissionsarme Ausbringtechnik geachtet werden.

Die Festphase wird in einigen Konzepten zur Aufbereitung verbrannt. Dies ist nicht zu empfehlen, da dabei der enthaltene Stickstoff vollständig verloren geht und Phosphat in den entstehenden Aschen meist schlecht pflanzenverfügbar ist.

9 Rechtlicher Hintergrund

9.1 Internationale Vereinbarungen im flächenbezogenen Umweltschutz

In Europa bestehen internationale Vereinbarungen und rechtliche Regelungen zum Schutz von Gesundheit und Ökosystemen. In ihnen sind Immissionswerte und Emissionsminderungsverpflichtungen für Luftschadstoffe, u. a. für Ammoniak, festgelegt. Auf diese Weise sollen sowohl hohe lokale Konzentrationen vermieden werden als auch weiträumige Hintergrundbelastungen zurückgehen. Die wichtigsten Regelungen und Dokumente sind nachfolgend aufgeführt.

Innerhalb des **Übereinkommens über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung der UNECE** (kurz: Genfer Luftreinhalteabkommen; UNECE 1979) arbeiten Staaten Europas und Vorderasiens, die USA und Kanada zusammen, um grenzüberschreitende Luft- und Umweltbelastungen zu mindern. In völkerrechtlich verbindlichen Protokollen verpflichten sich die Mitgliedsstaaten den Schadstoffausstoß in die Atmosphäre durch Anwendung moderner Technologien zu mindern sowie die Emissionssituation regelmäßig zu erfassen und an die Konvention zu berichten. Das 2012 aktualisierte **Göteborg-Protokoll** (UNECE 1999) zielt auf die Verminderung von Versauerung, Eutrophierung, Feinstaub und den Vorläuferstoffen des bodennahen Ozons ab und legt Minderungsziele für Ammoniak fest.

Zur Umsetzung des Göteborg Protokolls fasst der sogenannte **Ammoniakleitfaden** (Bittman et al. 2014) effektive Maßnahmen zur Minderung von Ammoniakemissionen, deren Minderungspotenziale und Kosten für Verantwortliche in Politik und Verwaltung zusammen. Der sogenannte **Framework Code for Good Agricultural Practice for Reducing Ammonia Emissions** (UNECE 2015) unterstützt die Beschreibung der Guten Fachlichen Praxis zur Ammoniakminderung für die landwirtschaftlichen Betriebe.

Mit der **Richtlinie über die Reduktion der nationalen Emissionen bestimmter Luftschadstoffe** (NEC-Richtlinie 2016) wurden die Minderungsverpflichtungen aus dem Göteborg-Protokoll in EU-Recht umgesetzt und ergänzt. In der Richtlinie sind Minderungsverpflichtungen für bestimmte Luftschadstoffe festgelegt, die in den EU-Mitgliedstaaten ab 2030 einzuhalten sind. In Deutschland ist eine Reduktion der Ammoniakemissionen um 29 Prozent gegenüber 2005 erforderlich. Details der Umsetzung in Deutschland sind in der **43. Bundes-Immissionschutzverordnung** (43. BImSchV 2018) geregelt. Zur Umsetzung der Richtlinie hat die Bundesregierung Deutschland ein **Nationales Luftreinhalteprogramm** (2019) aufgestellt, das den Weg zur Einhaltung der Minderungsverpflichtungen beschreibt.

9.2 Anlagenbezogener Immissionsschutz

Neben den Emissionsminderungsverpflichtungen, die auf nationaler Ebene gelten, gibt es in der Europäischen Union und in Deutschland Regelungen zu anlagenbezogenen Anforderungen und Grenzwerten, die direkt von den entsprechenden Betrieben einzuhalten sind. Die wichtigsten Regelungen werden nachfolgend aufgeführt:

Die **Richtlinie über Industrieemissionen** (IE-Richtlinie 2010) regelt die Zulassung und den Betrieb von Industrieanlagen, um schädliche Umweltwirkungen von Emissionen zu vermeiden oder zu vermindern. In der Nutztierhaltung fallen Anlagen mit einer Kapazität von über 2.000 Mastschweineplätzen, 750 Sauenplätzen und 40.000 Plätzen für Geflügel unter diese Richtlinie. Durch die Beschreibung der „Besten Verfügbaren Technik“ in den sogenannten BVT-Merkblättern sollen die Umweltstandards- und Wettbewerbsbedingungen innerhalb Europas angeglichen werden. Das **BVT-Merkblatt „Intensivtierhaltung von Schweinen und Geflügel“** (EU KOM 2017a) beschreibt den Stand der Technik für die Emissionsminderungen in der Nutztierhaltung. Anforderungen daraus, die von den Europäischen Staaten umzusetzen sind, werden in den sogenannten **BVT-Schlussfolgerungen** (EU KOM 2017b) veröffentlicht.

Das **Bundes-Immissionsschutzgesetz** (BImSchG 2013) hat den Zweck, Menschen und Umwelt vor schädlichen Umwelteinwirkungen zu schützen und dem Entstehen schädlicher Umwelteinwirkungen vorzubeugen. Für genehmigungsbedürftige Anlagen dient dieses Gesetz auch der Umsetzung der IE-Richtlinie in deutsches Recht

Die **Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft** (TA Luft 2021) ist die erste allgemeine Verwaltungsvorschrift zum BImSchG und konkretisiert dessen Anforderungen. In der TA Luft wird der Stand der Technik zur Reduzierung von Emissionen in die Umwelt festgeschrieben. Insbesondere werden die Vorgaben, die sich aus der IE-Richtlinie bzw. den BVT-Schlussfolgerungen für Tierhaltungsanlagen ableiten, in der TA Luft Nr. 5.4.7.1 umgesetzt. Diese Anforderungen stellen die Genehmigungsgrundlage für die Errichtung und den Betrieb einer Anlage dar.

Wasserrecht

Die **Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen** (AwSV 2017) ist eine bundesweite Verordnung zum anlagenbezogenen Gewässerschutz. Sie regelt den Bau und Betrieb von Anlagen zum Lagern von Jauche, Gülle und Sickersaft (JGS-Anlagen).

Düngerecht

Die **Düngeverordnung** (DÜV 2017) ist Bestandteil des nationalen Aktionsprogramms zur Umsetzung der EU-Nitratrichtlinie. Sie definiert die Gute Fachliche Praxis der Düngung. Zur Reduzierung der Ammoniakemissionen enthält die DÜV-Vorgaben zur emissionsarmen Ausbringung von Wirtschafts- und Mineraldüngern.

Die **Stoffstrombilanzverordnung** (StoffBilV 2017) verfolgt das Ziel, die Nährstoffflüsse in den Betrieben transparenter zu machen. Dadurch sollen Nährstoffverluste aus der Landwirtschaft verringert und die Einhaltung von Umweltzielen gewährleistet werden. Aufzeichnungspflichtige Betriebe müssen ihre Nährstoffzufuhren und -abgaben dokumentieren und einen maximal zulässigen Nährstoffüberschuss einhalten.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Mittlere N-Ausscheidung beim Rind in Abhängigkeit von der Futterbasis und unterschiedlichem Leistungsniveau – ohne Weidegang.	15
Tabelle 2:	Mittlere N-Ausscheidung von Schweinen bei Standardfütterung, N-reduzierten und stark N-reduzierten Fütterungsverfahren (kg N/TP und Jahr)	16
Tabelle 3:	Mittlere N-Ausscheidung beim Geflügel bei Standard und N-angepassten Fütterungssystemen.	17
Tabelle 4:	Maßnahmen zur Minderung der Ammoniakemission durch Anpassung von Futter und Fütterung	22
Tabelle 5:	Orientierungswerte für Stroheinstreu bei verschiedenen Milchvieh-Haltungsverfahren . . .	26
Tabelle 6:	Maßnahmen zur Emissionsminderung in zwangsgelüfteten Ställen und Außenklimaställen	29
Tabelle 7:	Orientierungswerte für Stroheinstreu bei verschiedenen Mastschweine-Haltungsverfahren.	31
Tabelle 8:	Ausgewählte Maßnahmen zur Minderung der Ammoniakemissionen in der Geflügelhaltung	33

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Gebiete mit Überschreitung des Critical Load für Eutrophierung durch Stickstoffeinträge im Jahr 2015.	8
Abbildung 2:	Entwicklung der Emission wichtiger Luftschadstoffe von 2005 bis 2017	9
Abbildung 3:	Prozentuale Verteilung der Ammoniakemissionen auf die verschiedenen Tierkategorien, Gärreste aus Energiepflanzen und Mineraldüngung für das Jahr 2019	10
Abbildung 4:	Prozentuale Verteilung der Ammoniakemissionen aus verschiedenen Quellen der Haltung von Rindern, Schweinen und Geflügel für das Jahr 2019	11
Abbildung 5:	Ammoniakbildung und Lösungsgleichgewicht zwischen Ammonium und gelöstem Ammoniak	12
Abbildung 6:	Steuernde Faktoren für die Freisetzung von Ammoniak aus Wirtschaftsdüngern	13
Abbildung 7:	Einfluss der Minderung des Rohproteingehaltes im Futter auf die Ammoniakemissionen. . .	18
Abbildung 8:	Gewichtsabschnitte bei einer 4-Phasenfütterung	21
Abbildung 9:	Stationäre Schieberentmistung, die Flüssigmist und Einstreureste mehrmals täglich aus dem Stall entfernt.	26
Abbildung 10:	Entmistungsroboter werden verstärkt zur Reinigung von Spaltenböden im Laufgang eingesetzt	27
Abbildung 11:	Hohe Fressgitter reduzieren Futtermittelverluste	28
Abbildung 12:	Unterflurschieber im Mistgang des Schrägbodenstalles	30
Abbildung 13:	Schrägbodenstall	31
Abbildung 14:	Eingestreuter planbefestigter Auslauf mit Überdachung	32
Abbildung 15:	Abluftwäscher an einem Mastschweinestall.	34
Abbildung 16:	Abdeckung mit einem Zeltdach	37
Abbildung 17:	Abdeckung mit Schwimmkörpern	37
Abbildung 18:	Überdachtes Festmistlager	38
Abbildung 19:	Temperaturabhängigkeit der Ammoniakfreisetzung von mit dem Schleppschlauch ausgebrachter Rinder- und Schweinegülle ohne Einarbeitung.	41
Abbildung 20:	Gülleausbringung mit Schleppschuhverteiler	42
Abbildung 21:	Einsatz eines Schlitzgerätes zur Gülleausbringung auf Grünland.	43
Abbildung 22:	Biogasanlage mit Fermenter (vorne) und gasdicht abgedecktem Gärrestlager (rechts hinten)	48

Glossar

Gute Fachliche Praxis Ammoniakemissionsminderung

AHL	Ammoniumnitrat-Harnstoff-Lösungen
BHKW	Blockheizkraftwerk
BVT	Beste Verfügbare Technik
CH₄	Methan
CO₂	Kohlendioxid
DLG	Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft
ECM	Energiekorrigierte Milch
GFP	Gute Fachliche Praxis
GV	Großvieheinheit
KTBL	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V.
kW	Kilowatt
LM	Lebendmasse
ME	Umsetzbare Energie
MJ	Megajoule
N	Stickstoff
N₂O	Lachgas
NH₃	Ammoniak
NH₄	Ammonium
NO_x	Stickoxide
NM VOC	non-methane volatile organic compounds – flüchtige organische Verbindungen ohne Methan –
nXP	nutzbares Rohprotein am Duodenum (Dünndarm)
pH Wert	Maß für den sauren oder basischen Charakter einer wässrigen Lösung
PM_{2,5}	Feinstaub mit einem Durchmesser bis zu 2,5 µm
RNB	ruminale Stickstoffbilanz: Maßstab für eine ausreichende Versorgung der Pansenmikroorganismen von Milch- und Aufzuchttrindern mit Stickstoff
SO₂	Schwefeldioxid
TA Luft	Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft
TMR	Totale Mischration
TP	Tierplatz
UBA	Umweltbundesamt
UFOP	Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e. V.
UNECE	United Nations Economic Commission for Europe
Wirtschaftsdünger	hier: Gülle, Festmist, Geflügelkot und Gärreste.
VERA	Verification of environmental technologies for agricultural production
VFT	Verein Futtermitteltest e. V.
XP	Rohprotein

Literaturverzeichnis

- Austermann, F (2016):** Untersuchungen zur Verbesserung der Tiergerechtigkeit und Reduzierung der Ammoniak-Emissionen bei funktionsoptimierten Spaltenböden mit reduziertem Schlitzanteil. Dissertation Bonn. Forschungsbericht Agrartechnik (VDI-MEG Schrift 565)
- AwSV (2017):** Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen vom 18. April 2017 (BGBl. I S. 905). Zuletzt geändert am 19.06.2020 (BGBl. I S. 1328)
- BImSchG (2013):** Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274). Zuletzt geändert am 08.04.2019 (BGBl. I S. 432)
- Bittman, S; Dedina, M; Howard CM; Oenema, O; Sutton, MA (eds.) (2014):** Options for Ammonia Mitigation: Guidance from the UNECE Task Force on Reactive Nitrogen, Centre for Ecology and Hydrology, Edinburgh, UK
- Bobrowski, A; Van Dooren, HJ; Ogink, N; Hagenkamp-Korth, F; Hasler, M; Hartung, E (2021):** Reduction of ammonia emissions by applying a urease inhibitor in naturally ventilated dairy barns, *Biosystems engineering* 204, S. 104–114
- Canh, TT; Aarnink AJA; Schrama, JW; Haaksma, J (1997):** Ammonia emission from pig houses affected by sugar beet pulp silage in the diet of growing-finishing pigs. In: Voermans, JAM and Monteny, G J (eds.): Ammonia and Odour Emission from Animal Production Facilities. Proceeding of the International symposium. Vinkeloord, The Netherlands, pp. 273–281
- DIN 11622-2 2015-09 (2015):** Gärfuttersilos, Güllebehälter, Behälter in Biogasanlagen, Fahrsilos – Teil 2: Gärfuttersilos, Güllebehälter und Behälter in Biogasanlagen aus Beton
- DIN 18910 2017-08 (2017):** Wärmeschutz geschlossener Ställe – Wärmedämmung und Lüftung – Planungs- und Berechnungsgrundlagen für geschlossene zwangsbelüftete Ställe
- DLG – Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft (2001):** Struktur- und Kohlenhydratversorgung der Milchkuh, DLG-Information 1/2001 des DLG-Arbeitskreis Futter und Fütterung, DLG Verlag, Frankfurt a. M.
- DLG – Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft (2008):** Empfehlungen zur Sauen- und Ferkelfütterung, DLG-Information 1/2008 des DLG-Arbeitskreis Futter und Fütterung, DLG Verlag, Frankfurt a. M.
- DLG – Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft (2010):** Erfolgreiche Mastschweinefütterung, DLG-Kompakt 1/2010 des DLG-Arbeitskreis Futter und Fütterung, DLG Verlag, Frankfurt a. M.
- DLG – Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft (2012):** Fütterungsempfehlungen für Milchkuhe im geburtsnahen Zeitraum, DLG-Arbeitskreis Futter und Fütterung, DLG Verlag, Frankfurt a. M.
- DLG – Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft (2014):** Bilanzierung der Nährstoffausscheidungen landwirtschaftlicher Nutztiere. Arbeiten der DLG, Band 199 DLG Verlag, Frankfurt a. M.
- DLG – Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft (2015):** DLG-Merkblatt 403: Hinweise zum Betrieb von Abluftreinigungsanlagen für die Schweinehaltung
- DLG – Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft (2016a):** Mengemäßige Erfassung des wirtschaftseigenen Futters. Definitionen von Mengenbegriffen und Verlustgrößen. DLG-Merkblatt 416. DLG Verlag, Frankfurt a. M.
- DLG – Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft (2016b):** Kälber- und Jungrinderaufzucht. Grundstein erfolgreicher Milcherzeugung. Arbeiten der DLG Band 203. DLG Verlag, Frankfurt a. M.
- DLG – Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft (2020):** Berücksichtigung N- und P-reduzierter Fütterungsverfahren bei den Nährstoffausscheidungen von Milchkühen. DLG-Merkblatt 444. DLG Verlag, Frankfurt a. M.
- DÜV (2017):** Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen vom 26.05.2017 (BGBl. I S. 1305). Zuletzt geändert am 28.04.2020 (BGBl. I S. 846)
- Döhler, H (1990):** Ammoniakverluste nach der Flüssigmistausbringung – Erfassung und Minderungsmöglichkeiten. In: VDI/KTBL (Hrsg.): Ammoniak in der Umwelt – Kreisläufe, Wirkungen und Minderungen, Darmstadt
- Döhler, H; Eurich-Menden, B; Dämmgen, U; Osterburg, B; Lüttich, M; Bergschmidt, A; Berg, W; Brunsch, R (2002):** BMELV/UBA-Ammoniak-Emissionsinventar der deutschen Landwirtschaft und Minderungsszenarien bis zum Jahr 2010. UBA-Texte 05/2002. Umweltbundesamt, Berlin. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/2071.pdf>, abgerufen am 08.09.2020
- EMEP – European Monitoring and Evaluation Programme (2019):** EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019, Kapitel 3D crop production and agricultural soils. EEA Report No 13/2019. URL: <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019/part-b-sectoral-guidance-chapters/4-agriculture/3-d-crop-production-and/view>, abgerufen am 01.03.2021
- Ebertseder, F; Lichti, F (2016):** Emissionen separierter fester Biogasgärreste, Forschungsbericht, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, URL: https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/ilt/dateien/entwicklung_einer_methode_zur_abschätzung_der_tatsächlichen_restgasbildung_von_gärrestlagern_und_dessen_validierung_in_der_praxis.pdf, abgerufen am 24.07.2018
- EU KOM – Europäische Kommission (2017a):** Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Intensive Rearing of Poultry or Pigs. URL: https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2019-11/JRC107189_IRPP_Bref_2017_published.pdf, abgerufen am 11.09.2020

- EU KOM- Europäische Kommission (2017b):** Durchführungsbeschluss (EU) 2017/302 der Kommission vom 15. Februar 2017. Schlussfolgerungen zu den besten verfügbaren Techniken (BVT) gemäß der Richtlinie 2010/75/EU des Europäischen Parlaments und des Rates in Bezug auf die Intensivhaltung oder -aufzucht von Geflügel und Schweinen. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv%3AOJ.L_.2017.043.01.0231.01.ENG&toc=OJ%3AL%3A2017%3A043%3AFULL, abgerufen am 11.09.2020
- Eurich-Menden, B; Döhler, H; Van den Weghe, H (2011):** Ammoniakemissionsfaktoren und Minderungsmöglichkeiten im deutschen landwirtschaftlichen Emissionsinventar – Milchvieh, Mastschweine, Legehennen. 10. Tagung Bau, Technik Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung, S. 219–225
- Fangueiro, D; Pereira, JLS; Macedo, S.; Trindade, H.; Vasconcelos, E.; Coutinho, J. (2017):** Surface application of acidified cattle slurry compared to slurry injection: impact on NH₃, N₂O, CO₂ and CH₄ emissions and crop uptake. *Geoderma*, 306, S. 160–166
- Hagenkamp-Korth, F; Haeussermann, A; Hartung, E (2015):** Effect of urease inhibitor application on urease activity in three different cubicle housing systems under practical conditions. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 202, S. 168–177
- Harmon, J; Hoff, S; Andersen, D; Rieck-Hinz, A (2014):** Air Management Practices Assessment Tool: urine-feces-segregation. *Animal Housing – Urine and Feces Segregation Overview* Iowa State University of Science and Technology. URL: <https://www.extension.iastate.edu/ampat/urine-feces-segregation>, abgerufen am 01.03.2021
- IE-Richtlinie (2010):** IED Richtlinie 2010/75/EU des europäischen Parlaments und des Rates vom 24. November 2010 über Industrieemissionen (integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung)
- Kaupenjohann, M; Schnug, E; Haneklaus, S; Döhler, H; Nebelsieck, R; Fock, K (2019):** Gutachten zur Anwendung von Minderungstechniken für Ammoniak durch „Ansäuerung von Gülle“ und deren Wirkung auf Boden und Umwelt; UBA-Text 148/2019., Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau
- KTBL – Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (2018):** Faustzahlen der Landwirtschaft, Hrsg.: KTBL, Darmstadt, 1379 Seiten
- KTBL – Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (2020):** Verbundvorhaben Emissionsminderung Nutztierhaltung (EmiMin). URL: <https://www.ktbl.de/themen/emimin>, abgerufen am 01.03.2021
- Möller, K; Schultheiß, U; Wulf, S; Schimmelpfennig, S (2017):** Düngung mit Gärresten, Eigenschaften – Ausbringung – Kosten. KTBL-Heft 117. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, Darmstadt
- Nationales Luftreinhalteprogramm (2019):** Nationales Luftreinhalteprogramm der Bundesrepublik Deutschland nach Artikel 6 und Artikel 10 der Richtlinie (EU) 2016/2284 über die Reduktion der nationalen Emissionen bestimmter Luftschadstoffe sowie nach §§ 4 und 16 der Verordnung über nationale Verpflichtungen zur Reduktion bestimmter Luftschadstoffe (43. BImSchV). URL: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/dokumente/luftreinhalteprogramm_bericht_bf.pdf, abgerufen am 27.07.2020
- NEC-Richtlinie (2016):** Richtlinie (EU) 2016/2284 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 14. Dezember 2016 über die Reduktion der nationalen Emissionen bestimmter Luftschadstoffe, zur Änderung der Richtlinie 2003/35/EG und zur Aufhebung der Richtlinie 2001/81/EG
- Ogink, NWM; Groenestein, CM; Mosquera, J (2014)** Actualisering ammoniakemissiefactoren rundvee: advies voor aanpassing in de Regeling ammoniak en veehouderij. *Livestock Research Wageningen UR, Rapport 744*
- Riis, AL (2016):** VERA TEST REPORT, Danish Agriculture & Food Council, Pig Research center. 41. S. URL: https://jhagro.de/wp-content/uploads/sites/8/2021/02/VERA-report_JH_Forsuring_Revision_april_28_2016.pdf, abgerufen am 01.03.2021
- Rösemann, C; Haenel, H-D; Vos, C; Dämmgen, U; Döring, U; Wulf, S; Eurich-Menden, B; Freibauer, A; Döhler, H; Schreiner, C; Osterburg, B; Fuß, R (2021):** Berechnung von gas- und partikelförmigen Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft 1990 – 2019. Report zu Methoden und Daten (RMD), Berichterstattung 2021. Thünen Report (in Vorbereitung)
- Sajeev, EPM; Amon, B; Ammon, C; Zollitsch, W; Winiwarter, W (2018):** Evaluating the potential of dietary crude protein manipulation in reducing ammonia emissions from cattle and pig manure: A meta-analysis. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* (2018) 110, S. 161–175; <https://doi.org/10.1007/s10705-017-9893-3>
- Schaap, M; Hendriks, C; Kranenburg, R; Kuenen, J; Segers, A; Schlutow, A; Nagel, H.-D; Ritter, A; Banzhaf, S (2018):** PINETI-3: Modellierung atmosphärischer Stoffeinträge von 2000 bis 2015 zur Bewertung der ökosystemspezifischen Gefährdung von Biodiversität durch Luftschadstoffe in Deutschland. UBA TEXTE 79/2018, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau
- Schulze, H; Verstegen, MWA; Tamminga, S (1993):** Effect of increased NDF content in the diet on urinary and faecal nitrogen excretion in young growing pigs. In: Verstegen, MWA; Den Hartog, LA; van Kempen, GJM; Metz JHM (eds.). *Nitrogen Flow in Pig Production and Environmental Consequences*. EAAP Publ. Pudoc, Wageningen, The Netherlands. 69, S. 264–267
- Seidel, A; Pacholski, A; Nyord, T.; Vestergaard, A; Pahlmann, I; Herrmann, A; Kage, H (2017):** Effects of acidification and injection of pasture applied cattle slurry on ammonia losses, N₂O emissions and crop N uptake. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 247, S. 23–32
- Søgaard, HT; Sommer, SG; Hutchings, NJ; Huijsmans, JFM; Bussink, DW; Nicholson, F (2002):** Ammonia volatilization from field-applied animal slurry—the ALFAM model. In: *Atmospheric Environment* 36 (20), S. 3309–3319
- StoffBiV (2017):** Verordnung über den Umgang mit Nährstoffen im Betrieb und betriebliche Stoffstrombilanzen. Stoffstrombilanzverordnung vom 14. Dezember 2017 (BGBl. I S. 3942; 2018 I S. 360)
- TA-Luft (2021):** Neufassung der Ersten Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft) AVwV v. 18. August 2021. Gemeinsames Ministerialblatt, 72. Jahrgang, Nr. 48–54, 14.09.2021.

- UBA – Umweltbundesamt (2019):** Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen, 1990 – 2017, Umweltbundesamt, Dessau; URL: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/emissionen-von-luft-schadstoffen>, abgerufen am 21.10.2019
- UNECE (1979):** Übereinkommen über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung (engl. Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution) kurz: Genfer Luftreinhaltekonvention. URL: <http://www.unece.org/fileadmin//DAM/env/lrtap/welcome.html>, abgerufen am 27.07.2020
- UNECE (1999):** Gothenburg Protocol to Abate Acidification, Eutrophication and Ground-level Ozone. Zuletzt geändert 2012. URL: http://www.unece.org/fileadmin//DAM/env/lrtap/multi_h1.htm, abgerufen am 07.09.2020
- UNECE (2015):** Framework Code for Good Agricultural Practice for Reducing Ammonia Emissions. Dokument basierend auf ECE/EB.AIR/129. URL: https://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/lrtap/Publications/Ammonia_SR136_28-4_HR.pdf, abgerufen am 01.03.2021
- VERA (2012):** Verification of environmental technologies for agricultural production – SYRE-N: Acidification of cattle slurry during land application of slurry, reduction of ammonia emissions during land application of slurry. Vera Verification Statement. October 2nd 2012, URL: https://www.vera-verification.eu/app/uploads/sites/9/2019/05/VERA-Statement001_SyreN.pdf, abgerufen am 25.08.2020
- VERA (2016) – Verification of environmental technologies for agricultural production – Verifizierungsurkunde für Gülleanreicherungssystem JH Forsuring NH4+ (Deutsch), URL:** https://www.vera-verification.eu/app/uploads/sites/9/2019/05/VERA-Urkunde006_JH-Forsuring-NH4-DE.pdf, abgerufen am 01.03.2021
- Webb, J; Pain, B; Bittman, S; Morgan, J (2010):** The impacts of manure application methods on emissions of ammonia, nitrous oxide and on crop response—A review. Agriculture, Ecosystems and Environment 137, S. 39–46. DOI: 10.1016/j.agee.2010.01.001
- 43. BImSchV (2018):** Verordnung über nationale Verpflichtungen zur Reduktion der Emissionen bestimmter Luftschadstoffe vom 18. Juli 2018 (BGBl. I S. 1222)



► **Unsere Broschüren als Download**
Kurzlink: bit.ly/2dowYYI

 www.facebook.com/umweltbundesamt.de
 www.twitter.com/umweltbundesamt
 www.youtube.com/user/umweltbundesamt
 www.instagram.com/umweltbundesamt/