

# Emissionen der Tierhaltung 2023 – erheben, beurteilen, mindern



Tagung am 10. und 11. Oktober 2023 –  
Gustav-Stresemann-Institut, Bonn

Gefördert durch



Bundesministerium  
für Ernährung  
und Landwirtschaft

Projektträger



Bundesanstalt für  
Landwirtschaft und Ernährung

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



rentenbank





# Emissionen der Tierhaltung 2023 – erheben, beurteilen, mindern

Tagung am 10. und 11. Oktober 2023 in Bonn

**Herausgeber**

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Darmstadt

## Fachliche Begleitung

### Programmausschuss

apl. Prof. Dr. Eva Gallmann | Prof. Dr. Eberhard Hartung | Dr. Stefan Neser | Prof. Dr. Jörg Oldenburg |  
Prof. Dr. Wilhelm Pflanz | Dr. Sabine Schrade

Bitte zitieren Sie dieses Dokument bzw. Teile daraus wie folgt:  
KTBL (2023): Emissionen der Tierhaltung 2023 – erheben, beurteilen, mindern.  
Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL)

© KTBL 2023

#### **Herausgeber und Vertrieb**

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL)  
Bartningstraße 49 | 64289 Darmstadt  
Telefon +49 6151 7001-0 | E-Mail: [ktbl@ktbl.de](mailto:ktbl@ktbl.de)  
[vertrieb@ktbl.de](mailto:vertrieb@ktbl.de) | Telefon Vertrieb +49 6151 7001-189  
[www.ktbl.de](http://www.ktbl.de)

Herausgegeben mit Förderung des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft  
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages.

#### **Titelfoto**

© KTBL | B. Eurich-Menden

## Inhalt

Emissionsarmer Tierwohlstall für Mastschweine mit vollständiger Kot-Harn-Trennung – Konzept und praktische Ausführung CHRISTIAN AUINGER, HELMUT GEORG DÖHLER.....	6
Emissionsarmer Tierwohlstall für Mastschweine mit vollständiger Kot-Harn-Trennung – Laboruntersuchungen zur Harnstoffstabilisierung und Nährelementfällung im Urin HELMUT GEORG DÖHLER, MARTIN KAUPENJOHANN.....	8
Emissionsarmer Tierwohlstall für Mastschweine mit vollständiger Kot-Harn-Trennung – Ermittlung von Emissionen und Immissionen, EIP-AGRI-Projekt „SaLu_T“ MICHAEL KROPSCH, DIETMAR ÖTTL, EDUARD ZENTNER.....	10
Klimabilanzierung in der Rinderhaltung – verfahrensabhängige Emissionsanalyse für Fütterung, Haltung und Wirtschaftsdüngerlagerung FRANZISKA BECKER, FRANK REINICKE.....	13
Qualitätsgesicherte Untersuchungen eines Einstreuadditivs zur Ammoniakminderung in der Hähnchenmast LARS BROER, JULIAN MARKUS, KATHRIN TOPPEL.....	16
Bewertung der NH <sub>3</sub> -Emissionspotenziale von Halteverfahren in der Schweinemast FRANZISKA CHRIST, BRIGITTE EURICH-MENDEN, DIETER HORLACHER, SEBASTIAN WULF.....	20
Wärmerückgewinnung mithilfe einer Abluftreinigungsanlage in einem Ferkelaufzuchtstall HAUKE F. DEEKEN, ALEXANDRA LENGING, MANUEL S. KROMMWEH, WOLFGANG BÜSCHER.....	23
Ammoniak- und Geruchsemissionen aus Mastschweinställen mit Auslauf – Ergebnisse aus dem Projekt „EmiDaT“ GIANNA DEHLER, BRIGITTE EURICH-MENDEN, ULRIKE WOLF, DIETER HORLACHER, ALEXEJ SMIRNOV.....	26
Ammoniak- und Methanemissionen aus freigelüfteten Milchviehställen – Ergebnisse aus dem Projekt „EmiDaT“ GIANNA DEHLER, BRIGITTE EURICH-MENDEN, ULRIKE WOLF, DIETER HORLACHER, ALEXEJ SMIRNOV.....	29
Welche Mengen tierischer, landwirtschaftlicher Produkte können in Deutschland umweltverträglich produziert werden? NELE DREISBACH, ANNE BIEWALD, NICK DÜHR, FREDERIKE BALZER, DIANA SORG.....	32
Untersuchungen zum Einfluss innovativer Haltungssysteme auf die Höhe der Umweltwirkungen JULIA DREWS, CLAUS DEBLITZ.....	35
Projektvorstellung „MoMiNE“ – Modellierung der N-Ausscheidung von Milchrindern zur Verbesserung der Nationalen Emissionsinventare und der einzelbetrieblichen Einschätzung CAROLINE DREYER, BERND LOSAND, PETER SANFTLEBEN.....	38

Signifikante Ammoniak- und Methanminderung durch stallinterne Flüssigmistansäuerung VERONIKA EBERTZ, MANFRED TRIMBORN, JOACHIM CLEMENS, RICHARD HÖLSCHER, WOLFGANG BÜSCHER.....	41
Nachweis der sicheren Verwendung für die praktische Anwendung eines Ureaseinhibitors zur Minderung von Ammoniakemissionen in Rinderställen (Prax REDUCE) ANNIKA EHMKE, JENS KARL WEGENER, ANDREAS MELFSEN, EBERHARD HARTUNG .....	44
Digitale Zwillinge von frei belüfteten Milchviehställen JULIAN HARTJE, STEFAN LINKE.....	46
Zum Einfluss einer variierenden ruminalen N-Bilanz (RNB) auf Leistungskriterien und die N-Ausscheidung bei Milchkühen in der Spätlaktation VERONIKA HUBER, ANTON OBERMAIER, MARKUS RODEHUTSCORD, THOMAS ETTLE.....	49
Immissionsmessungen an frei belüfteten Schweineställen – Vorstellung der Zwischenergebnisse FABIAN KRISCHKE .....	52
Erhebung von Geruchsemissionen in der Praxis zur Ableitung von Emissionsfaktoren für Ausbreitungsmodelle MICHAEL KROPSCH, DIETMAR ÖTTL, EDUARD ZENTNER .....	55
„Drehscheibe Ammoniak“: Vorgehen und erste Erfahrungen bei der Umsetzung von emissionsmindernden Stallsystemen THOMAS KUPPER, KILIAN APPERT, ERICH VON AH, MARKUS BUCHELI, MICHEL FISCHLER, MICHAEL SCHWARZENBERGER, MARKUS SPÜHLER, MICHAEL STÄUBLE, BARBARA STEINER, ANNELIES UEBERSAX, STÉPHANIE VUILLE, MICHAEL ZÄHNER.....	58
Ammoniakemissionen aus Masthühnerställen mit erhöhten Ebenen STEFAN LINKE, MARCUS CLAUSS, JOSEFINE EISERMANN, JULIA MALCHOW, LARS SCHRADER .....	61
Bestimmung von Emissionsraten bei praxisüblicher Proteinversorgung von Mastschweinen JULIAN MARKUS, LARS BROER, RALF KOSCH, ANDREA MEYER, WOLFGANG VOGT, STEFAN SAGKOB.....	64
Makroalge verfüttern, Kuh-Toilette im Stall oder Gülleensäuerung auf dem Acker? – Umweltwirkungen innovativer Emissionsminderungstechnologien RENÉ MÉITÉ, LUKAS BAYER, MICHAEL MARTIN, BARBARA AMON, SANDRA UTHES.....	67
Minderung der Feinstaubbelastung in eingestreuten Ställen IRENE MÖSENBACHER-MOLTERER, MICHAEL KROPSCH, EDUARD ZENTNER.....	70
Die praktische Umsetzung der nährstoffangepassten Mastschweinefütterung: ein wertvoller Beitrag zum Umwelt- und Ressourcenschutz in Bayern REINHARD PUNTIGAM, KATJA KREBELDER, ANNE HABERLAND PIMENTEL, STEPHAN SCHNEIDER, HUBERT SPIEKERS .....	73
Does Sensor Positioning Impact Emission Estimation in Naturally Ventilated Dairy Barns? HARSH SAHU, SABRINA HEMPEL, THOMAS AMON, JÜRGEN ZENTEK, DAVID JANKE.....	76

Milchviehrationen mit unterschiedlichem Rohproteingehalt: Effekt auf Ammoniak- und Lachgasemissionen	
SABINE SCHRADE, KERSTIN ZEYER, JOACHIM MOHN, MICHAEL ZÄHNER .....	79
Minderung der Ammoniakemissionen durch die Applikation eines Ureaseinhibitors in der Schweinemast	
HENNING SCHULTE, CHRISTIAN AMMON, FRAUKE HAGENKAMP-KORTH, EBERHARD HARTUNG.....	82
Nutzung der Milchanalytik im betrieblichen Fütterungscontrolling für eine klima- und ressourcenschonende, erfolgreiche Milcherzeugung	
KATHRIN F. STOCK, NADINE SCHNIPKOWEIT, ANDREAS WERNER, ANKE VAN OHLEN, LUZIE HENTSCHEL, STEPHAN EBSCHKE, WIBKE BROSCHEIT, SILKE HEINZ, FOLKERT ONKEN .....	85
Ökobilanzierung der Wertschöpfungskette Schwein in Deutschland – Herangehensweise und Besonderheiten	
NINA TREML, ANDREAS RUDI, FRANK SCHULTMANN.....	88
Nutztier-Umwelt-Interaktion in natürlich belüfteten Ställen am Beispiel von Ammoniak	
HUYEN VU, MOUSTAPHA DOUMBIA, QIANYING YI, THOMAS AMON, DAVID JANKE, SABRINA HEMPEL .....	92
NH <sub>3</sub> -Konzentrationen in unterschiedlichen Messhöhen am Beispiel freigelüfteter Putenställe	
DANIEL WERNER, BIRGIT SPINDLER, MARIE KRAMER, PIA NIEWIND, SILJA DENNIER, ANDREAS NAUBER, TIM BLÖCKER, MARKUS BÖCKELMANN, NICOLE KEMPER UND JOCHEN SCHULZ.....	95
Gülleabkühlung und Güllekanalverkleinerung als Maßnahme zur Minderung von Ammoniakemissionen in zwangsgelüfteten Mastschweineställen	
LILLY WOKEL, EVA GALLMANN .....	97
Güllekanalverkleinerung in Kombination mit einem Fütterungs- und Gülleadditiv zur Minderung von Ammoniakemissionen in zwangsgelüfteten Mastschweineställen	
LILLY WOKEL, EVA GALLMANN .....	100
Mitwirkende.....	103

## Emissionsarmer Tierwohlstall für Mastschweine mit vollständiger Kot-Harn-Trennung – Konzept und praktische Ausführung

CHRISTIAN AUINGER, HELMUT GEORG DÖHLER

### 1 Einleitung und Zielsetzung

Ziel der Arbeiten war es, sowohl ein Stallsystem zur artgerechten Unterbringung von Mastschweinen mit sehr niedrigen Emissionen als auch ein systemintegriertes Verfahren zur Optimierung der Nährstoffkreisläufe über die anfallenden Wirtschaftsdünger zu entwickeln. Das Konzept wurde 2017 erstellt und wird seit einigen Jahren in mehreren Betrieben praktiziert (Döhler 2020, Auinger et al. 2021).

### 2 Die wichtigsten Merkmale des Stallsystems

#### Gebäude

Das Gebäude gliedert sich in einen vollüberdachten Außenbereich/Auslauf, wo sich der Aktivitäts-, Fress- und Mistenbereich befindet, und einen klimatisierten Innenbereich. Nur der Mistenbereich ist perforiert. Auf einen offenen, nicht überdachten Auslauf wird bewusst verzichtet. Das Gebäude kann sowohl mit Satteldach als auch mit Flach-/Pulldach errichtet werden (Abb. 1).

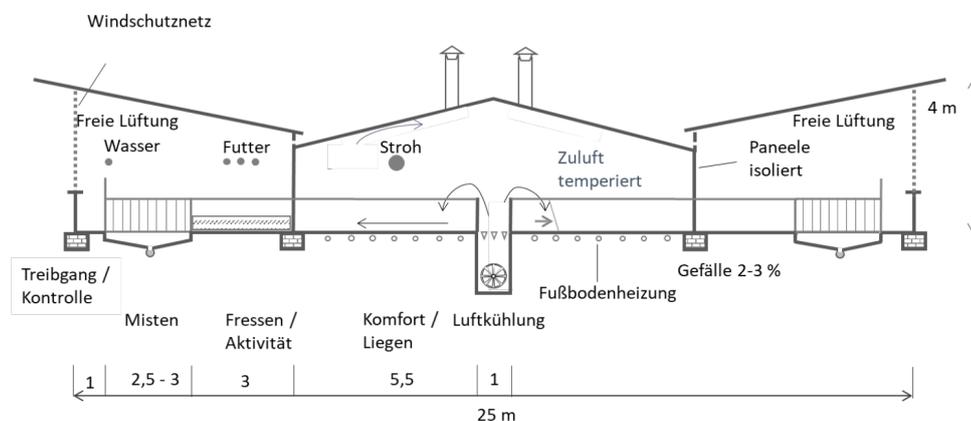


Abb. 1: Querschnitt Stallgebäude mit Pulldach (© S. Döhler)

#### Bucht

Der gekapselte, wärmedämmte und planbefestigte Innenbereich dient bei diesem Konzept als Komfort- und Liegebereich. Er beinhaltet die nach oben offen gehaltenen und eingestreuten Liegebuchten. Mittig befindet sich ein Kontrollgang. Durch den Komforteffekt, der durch Heizung, Kühlung, Einstreu sowie frische und staubfreie Luft gekennzeichnet ist, kann die Verschmutzung (Anlegen von Kotecken oder Exkre-

mentsuhlen) der planbefestigten Bereiche der Bucht weitgehend vermieden werden. Die Tierbesatzdichte ist ausgelegt auf ca. 1,1 bis 1,5 m<sup>2</sup>/Tier, was etwa 20 bis 25 Tieren pro Bucht entspricht.

Zur Verhinderung der Überhitzung des Liegebereiches im Sommer und zur Verhinderung des Abkotens/ Urinierens muss die Komfortzone unbedingt mit einer Kühlung ausgestattet werden. Dies erfolgt mit einem Kühlungssystem, das mit im Unterflurbereich des Stalles verbauten Kühlkissen/Coolpads realisiert wird.

### Mistenbereich, Wirtschaftsdüngerhandhabung und Emissionsminderung

Der Mistbereich ist mit perforierten Rosten versehen, im darunter liegenden Schieberkanal werden Kot und Harn getrennt, indem der Harn über ein leichtes Gefälle zur mittig liegenden Harnrinne geleitet wird, regelmäßiges Ausräumen der Urinrinne führt zu geringer Verweilzeit des Urins. Die Kot-Harn-Trennung in Verbindung mit einer kleinen, emittierenden Oberfläche führt zu einer drastischen Emissionsminderung für Ammoniakgase, die Überdachung des Auslaufs verhindert die Austrocknung der Exkremente bei hohen Temperaturen und wirkt somit ebenfalls emissionsmindernd.

## 3 Perspektiven für einen sehr emissionsarmen Betrieb

Erste, eigens durchgeführte Konzentrationsmessungen, die in 1 m Höhe meist unter 0,5 ppm Ammoniak liegen, deuten auf sehr geringe Emissionsfrachten hin, sodass das Erreichen des Emissionsminderungsniveaus von Abluftreinigungssystemen möglich erscheint. Für einen besonders emissionsarmen Stallbetrieb wird der Entmistungsbereich unter Flur optional mit einem Sprühsystem ausgerüstet, mit dem Wasser (zur schnellen Ableitung des Urins) oder Stabilisierungsflüssigkeiten (z. B. stabilisierter Urin) auf die Schieberfläche gesprüht werden können, um den Abbau des im Urin enthaltenen Harnstoffs zu blockieren (Döhler 2020). Der Kot kann sehr gut in der Biogasanlage genutzt werden, mit 1,8 bis 2 t Kot kann 1 t Maissilage in der Biogasanlage ersetzt werden (Döhler et al. 2021). Der abgetrennte Kot bietet zudem für Überschussbetriebe die Möglichkeit des kostengünstigen Exportes von organischem N und von P. Die unverzügliche Ausräumung der Exkremente führt darüber hinaus zu einer signifikanten Reduktion von Geruchs- und Methanemissionen im Stall (siehe auch EIP-Agri-Projekt „SaLu\_T“ in diesem Tagungsband).

## Literatur

- Döhler, H.; Döhler, S. (2020): Konzeptentwicklung für einen zukunftsfähigen und gesellschaftlich konsensfähigen Mastschweinestall unter Einbeziehung der Ansprüche an Tierwohl, Tiergesundheit, Klimaschutz, Umweltschutz und Arbeitsplatzqualität. Abschlussbericht, Osnabrück, DBU
- Auinger, C.; Döhler, H.; Döhler, S. (2021): Schweinehaltung ohne Mist und Gülle – Tierwohlstallsystem mit Kot-Harn-trennung und Niedrigstmissionen, Ausführungsplanung/Projektierung. Abschlussbericht, Osnabrück, DBU
- Döhler, H.; Döhler, S., Hölker, U. (2021): Ermittlung des Biogasbildungspotenzials von Schweinekot im Gasertrags-test. Schriftenreihe Umweltingenieurwesen, Band 105, 15. Rostocker Bioenergieforum, Universität Rostock, S. 153–158

## Förderhinweis

Das Vorhaben wurde von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) gefördert (AZ 91017/12 und AZ 34882/01).

## Emissionsarmer Tierwohlstall für Mastschweine mit vollständiger Kot-Harn-Trennung – Laboruntersuchungen zur Harnstoffstabilisierung und Nährelementfällung im Urin

HELMUT GEORG DÖHLER, MARTIN KAUPENJOHANN

### 1 Einleitung

Zielsetzung des durch die DBU geförderten Vorhabens ist die Entwicklung eines Schweinehaltungssystems, das einerseits umwelterhebliche und klimarelevante Emissionen drastisch reduziert und dabei andererseits den gesellschaftspolitischen Ansprüchen an eine tiergerechte Haltung genügt (Döhler 2020).

Das Konzept setzt auf eine technisch vollständige Trennung von Urin und Fäzes im Stall. Die beiden Fraktionen werden auch im Lager nicht vermischt, sondern getrennt weiterbehandelt. Der Urin wird schnell abgeführt oder weitergehend stabilisiert, sodass die Bildung von Ammoniak und dessen Emission im Stall minimiert wird. Die Stabilisierung erfolgt durch Hemmung der Hydrolyse des Harnstoffs. Mit der vorliegenden Untersuchung soll geprüft werden, ob Säuren oder Basen wirksame Ureasehemmer sind.

### 2 Material und Methoden

Die Effektivität der Ureasehemmung wurde in Laborexperimenten mit künstlich hergestelltem Schweineurin untersucht. Die Nährstoffkonzentrationen in der künstlichen Experimentmatrix wurden auf einen für Zuchtsauen typischen Konzentrationsbereich eingestellt und mit Schwefelsäure ( $H_2SO_4$ ) auf pH 2,5 bzw. 5,5 und mit Kalziumhydroxid ( $Ca(OH)_2$ ) auf pH 12,3 eingestellt. Anschließend wurden pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit (EC) sowie Ammonium- und Harnstoffkonzentrationen in den Proben zu unterschiedlichen Zeitpunkten über einen Gesamtzeitraum von 30 Tagen gemessen. Zusätzlich wurde die Ausfällung von Phosphor, Kalzium und Magnesium nach Zugabe von  $Ca(OH)_2$  untersucht.

### 3 Ergebnisse

Die Hydrolyse des Harnstoffs korreliert eng mit der elektrischen Leitfähigkeit des Urins und führte zu einem Anstieg des pH-Wertes von 7,9 auf 9,1. Ohne Zugabe eines Ureasehemmers wurde der Harnstoff bei Lagerung des künstlichen Urins in einem geschlossenen Behälter bei konstant 20 °C im Laufe von 30 Tagen vollständig zu Ammonium umgesetzt (Tab. 1).

Tab. 1: Ammonium- und Harnstoffkonzentrationen sowie pH-Werte und elektrische Leitfähigkeit von künstlich hergestelltem Zuchtsauenurin nach Inkubation von bis zu 30 Tagen (Harder 2019)

Parameter	Einheit	Tag 1	Tag 15	Tag 30
$NH_4^+$	mg/l	77	1.321	3.638
Urea	mg/l	5.488	2.932	9
pH		7,9	8,4	9,1
EC	S/m	10,14	15,39	22,60

Die Ansäuerung des Urins auf pH 2,5 unterdrückte die Harnstoffhydrolyse über den gesamten Untersuchungszeitraum vollständig, während bei Einstellung auf pH 5,5 die Hydrolyse nach 30 Tagen wieder langsam einsetzte. Auch die Alkalinisierung der Urinproben auf pH 12,3 verhinderte die Harnstoffhydrolyse über einen Zeitraum von 30 Tagen nahezu vollständig (Harder 2019, Döhler et al. 2019).

In Übereinstimmung mit Randall et al. (2016) zeigen die Laboruntersuchungen, dass die Blockierung der Urease sowohl mit Kalkhydrat als auch mit Schwefelsäure sowie die Induzierung von Nährelementfällungsreaktionen sehr gut steuerbar sind. Durch Alkalinisierung der „synthetischen Urinlösungen“ lassen sich die Elemente P, Ca und Mg zu etwa 90 % aus den Lösungen ausfällen.

### 3 Fazit

Die Laborergebnisse bestätigen die Arbeitshypothesen weitestgehend: Mit der Zugabe von Kalkhydrat und Säure lässt sich die Ureaseaktivität effektiv blockieren. Aktuell durchgeführte Untersuchungen an Urinproben aus dem praktischen Betrieb müssen zeigen, ob diese eindeutigen Ergebnisse uneingeschränkt auf die Praxis übertragbar sind.

### Literatur

- Döhler, H.; Döhler, S. (2020): Konzeptentwicklung für einen zukunftsfähigen und gesellschaftlich konsensfähigen Mastschweinestall unter Einbeziehung der Ansprüche an Tiergerechtigkeit, Tiergesundheit, Klimaschutz, Umweltschutz und Arbeitsplatzqualität, Abschlussbericht, Osnabrück, DBU
- Döhler, H.; Harder, E.; Kaupenjohann, M. (2019): Tierwohlstall ohne Mist und Gülle mit Ammoniak-Niedrigstemissionen – Konzept und erste Ergebnisse zur emissionsarmen Behandlung der Exkrememente, 131. VDLUFA Kongress, VDLUFA Schriftenreihe 76, Gießen, S. 419–426
- Harder, E. (2019): Macro nutrient recovery from source-separated Pig urine – Modeling and experimental verification, Master Thesis, Technische Universität Berlin
- Randall, D. G.; Krähenbühl, M.; Köpping, I.; T. Larsen, A.; Udert, K. M. (2016): A novel approach for stabilizing fresh urine by calcium hydroxide. *Water Research* 95, pp 361–69, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.03.007>

### Danksagung

Das Vorhaben wird von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) gefördert (AZ 34888/01 und AZ 91017/12).

## Emissionsarmer Tierwohlstall für Mastschweine mit vollständiger Kot-Harn-Trennung – Ermittlung von Emissionen und Immissionen, EIP-AGRI-Projekt „SaLu\_T“

MICHAEL KROPSCH, DIETMAR ÖTTL, EDUARD ZENTNER

### 1 Einleitung

Im Rahmen des EIP-AGRI-Projektes „Saubere Luft in der Tierproduktion: Emissionsminderung und Tierwohl in der Schweinemast (SaLu\_T)“ wurden u. a. umfassende Untersuchungen zu Emissionen und Immissionen durchgeführt – im Fokus standen Geruch und Ammoniak, Staub, Bioaerosole und Lärm.

Der im Projekt „SaLu\_T“ untersuchte „Emissionsarme Tierwohlstall für die konventionelle Mastschweinehaltung“ stellt einen komplett neuen Systemansatz dar, in dem, neben der Verbesserung des Tierwohls (mehr Platz pro Tier, Zurverfügungstellung von Einstreu und mehreren Beschäftigungsmaterialien, Zugang zu Außenklimabereich), der Fokus auf die Kombination mehrerer Emissionsminderungsmaßnahmen (Reduktion der emittierenden Oberflächen, N-angepasste Fütterung, Trennung von Kot und Harn, Kühlung der Zuluft, Strohentstaubungsanlage) gelegt wurde.

### 2 Material und Methoden

**Geruchserhebungen:** Die essenzielle Ressource für Feldbegehungen ist ein ausreichend großer Pool an Probanden, deren Geruchsempfinden zuvor unter normativen Bedingungen ermittelt wurde. Vorgabe der entsprechenden ÖNORM EN 13725 (2022) ist das Selektieren von geeigneten Personen, deren Geruchssinn nicht zu sensibel bzw. zu unempfindlich ausgebildet ist. Die Feldbegehungen zur Ermittlung der Geruchshäufigkeiten wurden an 8 Erhebungspunkten, im Zeitraum vom 10.1. bis 12.7.2022, auf Basis der ÖNORM EN 16841-1 (2017) geplant und durchgeführt. Die Geruchseindrücke „Schweinestall“ und „Güllegrube“ wurden zur Berechnung der Geruchshäufigkeiten zusammengefasst; unberücksichtigt blieben Gerüche durch „Gülleausbringung“ und andere Geruchsarten. Ziel der Geruchserhebungen war die Generierung von Emissionsdaten, aus denen durch „Rückrechnung“ (siehe Abschnitt 3) ein stallspezifischer Geruchsemissionsfaktor abgeleitet werden kann.

**Ermittlung der Ammoniakkonzentration in der Emission:** Um die Ammoniakbelastung im Innenbereich des Stalles und in den einzelnen Funktionsbereichen im Auslaufbereich zu erheben, wurde die Methodik der FTIR-Emissionsmessung verwendet. Das FTIR-Messgerät wurde von der DLG Deutschland zur Verfügung gestellt und war zur Messung der Ammoniakemissionsverläufe 4-mal pro Jahr (Frühjahr, Sommer, Herbst und Winter) für jeweils 10 Tage im Einsatz. Die Messungen der  $\text{NH}_3$ -Konzentrationen wurden in der Mitte des Stallgebäudes, in je einer nördlich und südlichen gelegenen Mastbucht (beide sind baugleich), durchgeführt. Dazu wurden je Bucht drei Gasmessleitungen in den Funktionsbereichen installiert: im Ruhebereich (innen), im Fress- und Kotbereich (außen).

**Ammoniakmessung in der Stallumgebung:** An insgesamt zehn Punkten wurden  $\text{NH}_3$ -Messungen mit Passivsammlern (Typ „Radiello“) durch das Institut für Landtechnik und Tierhaltung (LFL Bayern) in Kooperation mit der HBLFA Raumberg-Gumpenstein durchgeführt. Es erfolgte eine Doppelbeprobung in ca. 3 m Höhe über Grund; für die weiteren Auswertungen wurde jeweils der Mittelwert herangezogen. Die Messperiode

erstreckte sich von Oktober 2020 bis März 2022, mit monatlichem Wechsel der Passivsammler. Wie bei den Geruchserhebungen dienten die ermittelten  $\text{NH}_3$ -Konzentrationen zur „Rückrechnung“ (siehe Abschnitt 3) auf einen spezifischen  $\text{NH}_3$ -Emissionsfaktor für den untersuchten „Emissionsarmen Tierwohlstall“.

**Ermittlung der Staubkonzentration:** Für die Staubmessungen wurde ein Environmental Dust Monitor der Firma Grimm (Spektrometer 11-C) verwendet, mit Auswertung der Fraktionen PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>1</sub> und Analyse der Partikelverteilung über 31 Größenkanäle. Im Zeitraum von 23.07.2021 bis 02.03.2023 wurden insgesamt 5 Messkampagnen im Stallinnenraum und im Auslaufbereich durchgeführt. Im Rahmen des letzten Erhebungsblocks Anfang 2023 wurden unterschiedliche Minderungsszenarien, „Stroh entstaubt mit Öl-Vernebelung“ und „Stroh entstaubt ohne Öl-Vernebelung“, ergänzend untersucht.

**Messung der Bioaerosolkonzentration:** Das Ziel der Messungen war, den Ist-Zustand der Immissionen im Bereich des neuen „Emissionsarmen Tierwohlstalles für Mastschweine“ zu erheben. Das Hautaugenmerk lag dabei auf der Gruppe der Staphylokokken bzw. auf *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) – in Anlehnung an die Leitparameter der VDI 4250 Blatt 3 (2016). Zusätzlich wurden die Gesamtbakterien sowie die Gruppe der grampositiven Bakterien erfasst. Über einen Zeitraum von rund einem Jahr wurden in Summe 9 Messserien abgehalten; Start dazu war im Juni 2021. Für die Erhebung der Bioaerosole kamen zwei Messverfahren zur Anwendung: die direkte Sammelmethode der „Impaktion“ und die indirekte Sammelmethode des „Impingements“. Analog zur Geruchsbegehung und zur Erhebung der Ammoniakkonzentration im Umfeld des „SaLu\_T“-Stalles wurden die Bioaerosole an mehreren Mess- bzw. Immissionspunkten gemessen.

**Schalltechnische Untersuchung:** Für die Untersuchung der Lärmemissionen wurden zwei Schallpegelmessgeräte der Type Nor140, mit Mikrofon Nor1225 und Mikrofonvorverstärker Nor1209 (alle Firma Norsonic) verwendet. Vor und nach jeder Messung wurden die Schallpegelmessgeräte mit einer Prüfschallquelle der Bauart Nor1251 kalibriert. Bei der Messkampagne im August 2022 wurden, jeweils zur gleichen Zeit, 10 Kurzzeitmessungen mit zwei Schallpegelmessgeräten der Type Nor140 durchgeführt. Die Erhebungen fanden im Bediengang des nördlichen Auslaufbereiches, innerhalb der Gebäudehülle, statt. Während der Messperioden erfolgte eine gleichmäßige Bewegung der beiden Schallpegelmessgeräte zwischen der westlichen und östlichen Stallaußenseite, rund 1,5 m über Boden. Der gesamte nördliche Auslaufbereich der Mastschweine wurde damit erfasst. Schalltechnischer Untersuchungsgegenstand war die Frage, ob die Haltung von Mastschweinen in dem neu konzipierten „Emissionsarmen Tierwohlstall“ höhere Lärmpegel hervorruft als die Haltung in herkömmlichen, konventionellen, zwangsbelüfteten Systemen. Basis dieses Vergleichs waren die vom UBA (2013) publizierten Schallemissionsdaten von Mastschweinen.

### 3 Ergebnisse und Diskussion

Für die Modellierung mit GRAL wurde als initiale Emissionsfracht 1 MGE/h gewählt (Öttl 2022). Diese Emissionsfracht wurde im Postprocessing so lange verändert, bis eine bestmögliche Übereinstimmung zwischen erhobenen und modellierten Geruchshäufigkeiten erzielt wurde. Der spezifische Geruchsemissionsfaktor des überprüften Stallsystems liegt bei rund 8 GE/GVE/s und entspricht damit einer Reduktion gegenüber dem Faktor für zwangsbelüftete Mastschweinestallungen um 95 % (140 GE/GVE/s; Öttl et al. 2021).

Die Ammoniakkonzentration im Stallsystem (Funktionsbereiche des „Emissionsarmen Tierwohlstalles“) weist mit maximal 3,1 ppm, gegenüber Parallelmessungen in einem zwangsbelüfteten Mastschweinestall mit maximal 16,5 ppm, eine um rund 80 % verminderte Konzentration auf.

Bei der Ermittlung der Ammoniakemissionen wurde, analog zu den Geruchsmodellierungen, von einer initialen Emissionsfracht von 1 kg/h ausgegangen (Öttl 2022). Diese Emissionsfracht wurde im Anschluss

derart optimiert, dass eine bestmögliche Übereinstimmung (minimaler Bias) mit den gemessenen Konzentrationen erzielt wurde:

$$Bias = \sum_k \sum_i \sum_n |B_n - (M_n \cdot f_i + H_k)| \quad (Gl. 1)$$

Hierbei ist  $B_n$  die jeweilige monatsdurchschnittliche gemessene Konzentration am Messpunkt  $n$ ,  $M_n$  die von GRAL modellierte monatsdurchschnittliche Konzentration an diesem Messpunkt,  $f_i$  die modulierte Emission und  $H_k$  die modulierte Hintergrundbelastung (räumlich homogen angenommen). Der ermittelte Ammoniakemissionsfaktor von 0,73 kg/TP/a weist eine Minderung von rund 80 % gegenüber dem Basisfaktor der VDI 3894-1 (3,64 kg/TP/a; VDI 2011) auf.

Die Staubkonzentrationen im Innenbereich des Projektstalls zeigen einen jahres- und tageszeitlichen Verlauf und können durch den Einsatz einer Strohentstaubungsanlage, in Kombination mit einer Öl-Niedrigdruck-Vernebelung, die Belastung deutlich mindern. Dies ist zentral hinsichtlich der Atemwegsgesundheit von Schweinen.

Eine der zentralen Fragen zur Thematik der Bioaerosole war der Umfang des Austrags (von der Quelle „SaLu\_T“-Projektstall) in die unmittelbare Umgebung. Hier zeigte sich – durch Verdünnungseffekte – eine rasche Konzentrationsabnahme ausgehend von der Quelle. Vergleiche mit den Ergebnissen aus dem Projekt „Luquasta“ (Galler 2022) weisen darauf hin, dass die Konzentration der Staphylokokken im Umfeld des untersuchten „Emissionsarmen Tierwohlstalls“ nicht höher liegen als bei begutachteten zwangsbelüfteten Mastschweinestallungen. Die *spa*-Typisierung ausgewählter *S.-aureus*-Keime zeigte das Vorliegen typischer nutztierassoziiertes LA-MRSA mit charakteristischem Resistenzmuster.

Wesentlich, insbesondere hinsichtlich zukünftiger Genehmigungsverfahren für „Emissionsarme Tierwohlställe“ mit Außenklimabereich, war die Klärung, ob die Mastschweine in diesem neuen System höhere Geräuschemissionen zeigen als in konventioneller Haltung mit Zwangsbelüftung. Der Vergleich des ermittelten Emissionsfaktors von  $L_{WA,1 \text{ Schwein-Ma,SaLuT}} = 60,9 \text{ dB}$  im Tages- und Abendzeitraum entspricht beinahe exakt jenem Wert ( $L_{W,1 \text{ Schwein-Ma,TA}} = 61,0 \text{ dB}$ ) für zwangsbelüftete Mastschweinestallungen (UBA 2013).

## Literatur

- Galler, H. (2022): Forschungsauftrag Projekt Luquasta – Immissions- und Emissionsmessungen von Bioaerosolen im Bereich von Geflügel- und Schweinestallungen. Vortrag im Rahmen des Webinars Emissionsbeurteilung in der Nutztierhaltung am 5. April 2022
- ÖNORM EN 13725 (2022): Emissionen aus stationären Quellen – Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration durch dynamische Olfaktometrie und Ermittlung der Geruchsstoffemissionsrate, Wien
- ÖNORM EN 16841-1 (2017): Außenluft – Bestimmung von Geruchsstoffemissionen durch Begehungen – Teil 1: Rastermessung, Wien
- Öttl, D. (2022): Projekt SaLu\_T – Erhebungen der Geruchs- und Ammoniakimmissionen in der Umgebung eines Tierwohlstalles für die Schweinemast. (Hg.) Amt der Steiermärkischen Landesregierung
- Öttl et al. (2021): Richtlinie zur Beurteilung von Geruchsimmissionen. Bericht Nr. LU-02-2021, (Hg.) Amt der Steiermärkischen Landesregierung
- UBA (2013): Praxisleitfaden Schalltechnik in der Landwirtschaft. REP-0409, Wien, Umweltbundesamt
- VDI 3894 Blatt 1 (2011): Emissionen und Immissionen aus Tierhaltungsanlagen – Haltungsverfahren und Emissionen – Schweine, Rinder, Geflügel, Pferde. Berlin, Beuth Verlag
- VDI 4250 Blatt 3 (2016): Bioaerosole und biologische Agenzien – Anlagenbezogene, umweltmedizinisch relevante Messparameter und Beurteilungswerte, Berlin, Beuth Verlag

## Klimabilanzierung in der Rinderhaltung – verfahrensabhängige Emissionsanalyse für Fütterung, Haltung und Wirtschaftsdüngerlagerung

FRANZISKA BECKER, FRANK REINICKE

### 1 Einleitung

Die von der Rinderproduktion ausgehenden Klimawirkungen sind komplex. Ziel der Klimabilanzierung ist es daher, alle wesentlichen Quellen zu erfassen. Der Indikator Treibhausgasemissionen ist Teil eines Indikatorensets zur ganzheitlichen Nachhaltigkeitsbewertung (Becker et al. 2015). Dadurch ist es möglich, Verbesserung der Klimawirkung auch in Bezug zu anderen Nachhaltigkeitszielen, wie Tierwohl, zu betrachten.

### 2 Methodik

Die Eingangsgrößen werden betriebsindividuell erfasst und über programminterne Algorithmen und eine umfangreiche Stammdatenbank miteinander verknüpft. Basis sind die Koeffizienten des Berechnungsstandards für einzelbetriebliche Klimabilanzen (Arbeitsgruppe BEK 2021). Eine wesentliche Innovation ist die Beschreibung des Betriebes als System vernetzter Stoff- und Energieflüsse, womit sich die vielfältigen Wechselwirkungen im Produktionssystem darstellen lassen.

So wird beispielsweise der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck der eigenen Futtermittelproduktion als Eingangsgröße berücksichtigt.

### 3 Fazit

Die Ergebnisse der Klimabilanzen verschiedener Haltungssysteme von Milchkühen sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tab. 1: Ergebnisse der Klimabilanzierung je Tier in kg CO<sub>2</sub>e/a (© INL GmbH)

	Produktionssysteme		
	ganzjährige Laufstallhaltung	intensive Weidehaltung	ohne eigene Nachzucht
Essbares Protein (kg eP)	165	130	293
Energiekorrigierte Milch (kg/a)	9.936	9.033	10.839
Emissionsquellen je Tier in kg CO <sub>2</sub> e/a			
Tierzukauf	-	-	1.458
<b>Haltungssystem</b>	<b>394</b>	<b>198</b>	<b>538</b>
CO <sub>2</sub> e - indirekte Energie	284	96	304
CO <sub>2</sub> e - direkte Energie	103	95	225
CO <sub>2</sub> e - Prozesswasser	7	6	9
<b>Futtererzeugung</b>	<b>1.291</b>	<b>938</b>	<b>1.753</b>
Eigenfutter	843	693	1.308
Zukaufsfutter	448	246	445

Fortsetzung der Tabelle nächste Seite

	Produktionssysteme		
	ganzjährige Laufstallhaltung	intensive Weidehaltung	ohne eigene Nachzucht
<b>Methanemission</b>	<b>2.804</b>	<b>2.215</b>	<b>3.762</b>
CO <sub>2</sub> e - enterisch	2.104	1.717	2.549
CO <sub>2</sub> e - Düngerlager	700	497	1.213
<b>Lachgasemission</b>	<b>431</b>	<b>749</b>	<b>864</b>
CO <sub>2</sub> e - Stall und Lager	354	66	864
CO <sub>2</sub> e - Weide	77	684	-
<b>Ammoniakemission</b>	<b>71</b>	<b>55</b>	<b>175</b>
CO <sub>2</sub> e - Stall, Lager, Weide	71	55	175
<b>Emissionen gesamt</b>	<b>4.991</b>	<b>4.155</b>	<b>8.202</b>
<b>Klimawirkung je Produkteinheit</b>			
CO <sub>2</sub> e je kg eP	30,3	32,1	28,0
CO <sub>2</sub> e je kg ECM	1,09	1,13	0,94

Der Betrieb mit ganzjähriger Laufstallhaltung ordnet sich in Hinblick auf die Emissionen aus Haltungssystem, Futtererzeugung und Ammoniak im mittleren Bereich ein. Eine intensive Weidehaltung kann demgegenüber sowohl in der Futtererzeugung als auch in den CH<sub>4</sub>- und NH<sub>3</sub>-Emissionen punkten. So können die hohen, weidebedingten N<sub>2</sub>O-Emissionen in der Gesamtbilanz ausgeglichen werden. Der Betrieb ohne eigene Nachzucht weist eine intensive Futtererzeugung auf, die zudem hohe enterische CH<sub>4</sub>-Emissionen durch die grassilagebetonte Ration hervorruft. Zusätzlich werden hier die Zukäufe tragender Färsen in Höhe von 1.458 kg CO<sub>2</sub>e/a und die hohen N<sub>2</sub>O-Emissionen infolge des Festmiststalls berücksichtigt. Neben der Betrachtung der Gesamtemissionen ist der produktbezogene CO<sub>2</sub>-Fußabdruck von Bedeutung. Dabei zeigt der spezialisierte Betrieb ohne Nachzucht, dass sich die hohen THG-Emissionen durch eine sehr gute Milchleistung relativieren können. Er besitzt im Vergleich der verschiedenen Haltungssystemen die günstigste Klimawirkung je Produkteinheit. Ergänzend ist in Abbildung 1 ein Beispiel der Gesamtbewertung eines Betriebes inklusive Tierwohl dargestellt.

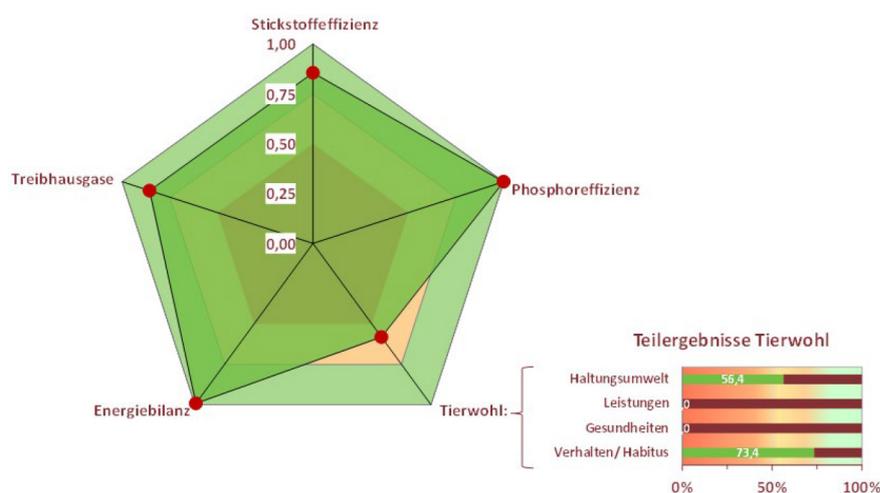


Abb. 1: Beispiel der Gesamtbewertung eines Betriebes inklusive Tierwohl (© INL GmbH)

## Literatur

- Arbeitsgruppe BEK (2021): Berechnungsstandard für einzelbetriebliche Klimabilanzen (BEK) in der Landwirtschaft. Handbuch, Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.
- Becker, F. et al. (2015): Entwicklung eines Nachhaltigkeitsmanagementsystems für Rinder haltende Betriebe: Fütterung, Ressourcen, Klima, Tiergerechtigkeit. Frankfurt/Main, DLG-Verlag

## Förderhinweis

Dieses Projekt wurde von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt gefördert.

## Qualitätsgesicherte Untersuchungen eines Einstreuadditivs zur Ammoniakminderung in der Hähnchenmast

LARS BROER, JULIAN MARKUS, KATHRIN TOPPEL

### 1 Einleitung

Die Neufassung der Ersten Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (TA Luft 2021) schreibt für Masthähnchenställe mit Zwangsentlüftung u. a. eine Minderung der Ammoniakemissionen von 70 % bei Stallanlagen ab 40.000 Tierplätzen (TP) bzw. 40 % bei Stallanlagen mit 30.000 bis 40.000 TP vor. Als technische Lösung zur Erfüllung der Vorgaben ist derzeit die Abluftreinigung mit Wäschern verfügbar, wobei zu den vergleichsweise hohen Investitionskosten auch laufende Kosten anfallen.

Neben der Beeinträchtigung der Umwelt ist Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) ein Risikofaktor u. a. für Atemwegserkrankungen der Tiere und unterliegt Grenzwerten. Da der Einstreu eine Schlüsselrolle bei der Entstehung von Ammoniak zukommt, wurde eine Einstreumaßnahme zur Minderung von  $\text{NH}_3$  in der Masthühnerhaltung entwickelt. Auf Grundlage der Praxisuntersuchungen soll eine Aussage getroffen werden, ob die Einstreumaßnahme als eine kostengünstige Alternative zur Abluftreinigung, unter der Förderung einer tierwohlorientierten Haltungsumwelt, angewendet werden kann.

### 2 Material und Methoden

#### 2.1 Minderungsmaßnahme/Einstreupflegemittel

In einem konventionellen Masthühnerbetrieb wurde gemäß der praxisüblichen Anwendung ein Strohpellet mit pH-Wert reduzierendem Einstreupflegezusatz (ImproBed®; Fa. Grillo, Duisburg) ausgebracht. Ein wesentlicher Anteil des Zusatzes ist Natriumhydrogensulfat.

Dem Gesamtstickstoff (Gesamt-N) der Geflügelexkreme eines Masthuhns werden 40 bis 70 % Harnsäure, 4 bis 12 % Harnstoff und 4 bis 20 % Ammonium zugerechnet (Kirchgeßner und Kreuzer 1990, Nahm 2003). Die Mikroben im Kot-Einstreu-Gemisch bilden Enzyme, welche die Harnsäure zu Harnstoff abbauen (Uricase, Allantoinase und Allantoicase), der Abbau von Harnstoff zu  $\text{NH}_3$  erfolgt wiederum unter Beteiligung von Ureasebildnern. Eine Absenkung des pH-Wertes in der Einstreu von ca. pH 7 (Standardeinstreu) auf ca. pH 2 hemmt die mikrobielle Aktivität (u. a. Enzyymbildung), die Aufspaltung der Exkreme und folglich der  $\text{NH}_3$ -Freisetzung (Li et al. 2013, Toppel et al. 2018). Das Dissoziationsgleichgewicht verschiebt sich zugunsten Ammonium, nachgewiesen wurde bislang eine deutliche Reduktion von  $\text{NH}_3$  auf Tierhöhe ohne N-Anreicherung in der Einstreu zum Mastende (Toppel et al. 2018, Toppel und Andersson 2022).

#### 2.2 Methodik/Messdurchführung

Bei der Messplanung wurde das internationale VERA-Prüfprotokoll für Tierhaltungs- und Managementsysteme zugrunde gelegt (VERA 2018).

Es werden für die Untersuchungen in der Masthühnerhaltung zwei Versuchsanordnungen vorgegeben: (1) Fall-Kontroll-Ansatz: erfordert zwei Standorte mit je zwei baugleichen Ställen; kein direkter Vergleich

der Messungen zwischen den beiden Ställen. Der „Fall“-Stall wird mit der Minderungstechnik (bzw. -maßnahme) ausgestattet, der „Kontroll“-Stall wird konventionell geführt. Dieser Ansatz ist fehleranfällig, da Fall- und Kontrollstall immer gewisse Unterschiede aufzeigen und eine Definition der Kontrolle somit schwierig ist.

(2) Anwendung auf mehreren Betrieben: Vier einzelne Ställe werden unter Einsatz der Minderungstechnik (bzw. -maßnahme) untersucht und die Ergebnisse mit dem Referenzwert des Emissionsfaktors für die konventionelle Haltung verglichen (VERA 2018). Vorteil ist, dass Managementunterschiede besser erfasst werden, das Ergebnis der Untersuchung ist allgemeingültiger. Gefordert werden sechs Messzeiträume von mindestens je 24 Stunden verteilt über alle Jahreszeiten.

Im vorliegenden Versuch wurde, auf Grundlage von (2), zur Sicherstellung valider Messergebnisse, der Untersuchungszeitraum über drei vollständige Mastdurchgänge, welche die drei Jahreszeiträume (Sommer, Übergang und Winter) abdecken, ausgeweitet. Die Messungen fanden auf konventionellen Mastbetrieben statt. Die untersuchten Ställe hatten eine Größe von 1.600 bis 1.800 m<sup>2</sup> für 35.000 bis 42.000 Tiere. Die Abluft wurde giebelseitig abgeführt. Die Haltungsdauer betrug 42 Tage, mit Vorgriffen am 28. und 33. Lebenstag. An einem der Ställe wurden in der Vergangenheit schon zahlreiche Messungen im Rahmen von VERA-Tests durchgeführt. Daher wurde hier bereits ein Emissionsfaktor ohne Minderungsmaßnahmen bestimmt, welcher bei 0,054 kg/(TP a) lag. Dieser Emissionsfaktor bestätigt somit den Emissionsfaktor der VDI 3894 (2011) mit 0,048 kg/(TP a). Ammoniak und Treibhausgase wurden kontinuierlich mit FTIR-Analysatoren gemessen. Eine durchgehende Messung erfolgte ebenfalls für die Stallklimaparameter Lüftungsrate, Temperatur, relative Feuchte sowie NH<sub>3</sub> auf Tierhöhe und Kohlendioxid. Zudem wurden tierbezogene Parameter wie Mortalität und Lebendgewicht erfasst. Die Stickstoff- und Phosphormengen wurden über Tier, Mist und Gasphase bilanziert.

### 3 Erste Ergebnisse

Die Tiergesundheit der Herden war unauffällig. Erste Ergebnisse der NH<sub>3</sub>-Messungen zeigen, dass die Gesamtemissionen von NH<sub>3</sub> durch die Ausbringung pH-Wert reduzierter Einstreupellets deutlich gesenkt wurden. Wie Abbildung 1 zeigt, wurde in den ersten fünf Lebenswochen kaum NH<sub>3</sub> nachgewiesen, erst zum Ende der Mast waren NH<sub>3</sub>-Emissionen zu verzeichnen. Diese waren zu vergleichbaren Messungen ohne Einstreupflegemittel jedoch deutlich verringert. Die Ergebnisse ließen sich auch durch den NH<sub>3</sub>-Konzentrationsverlauf auf Tierhöhe bestätigen.

Auch die durchgeführten N/P-Bilanzierungen (Tab. 1) belegen einen deutlich geringeren Stickstoffanteil in der Gasphase.

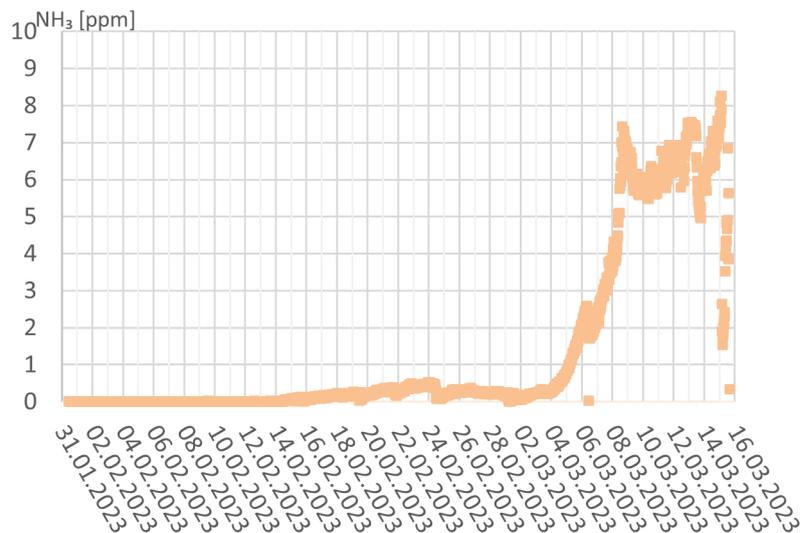


Abb. 1: Verlauf der NH<sub>3</sub>-Konzentration auf Tierhöhe in ppm während der gesamten Haltungsperiode (31.1. Einstal- lung, 14.3. Endausstallung) (© LUFA)

Tab. 1: N/P-Bilanz eines Mastdurchganges

Bilanzierung	Einheit	Stickstoff		Phosphor	
		Stall 2			
Input		N-Gehalt		P-Gehalt	
Einstreu	kg	10,4		1,3	
Futter	kg	4.228,8		630,7	
Gas	kg	2,2		0,0	
Tier	kg	50,2		6,7	
<b>Gesamt</b>	<b>kg</b>	<b>4.291,5</b>		<b>638,6</b>	
Output		N-Gehalt		P-Gehalt	
Mist	kg	1.386,5		185,9	
Gas	kg	39,8		0,0	
Tier	kg	2.884,0		384,5	
<b>Gesamt</b>	<b>kg</b>	<b>4.310,2</b>		<b>570,4</b>	
<b>Wiederfindung</b>	<b>%</b>	<b>100,4</b>		<b>89,3</b>	

Der Untersuchungsfortschritt zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieses Tagungsbands ließ noch nicht zu, dass Ammoniakemissionswerte ermittelt wurden.

## 4 Ausblick

Um die neuen Anforderungen der TA Luft zu erfüllen, sollten unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit alle Möglichkeiten zur Minderung der NH<sub>3</sub>-Emissionen ausgeschöpft werden. Die geprüfte Indoor-Maßnahme scheint eine praktikable ökonomisch und ökologisch sinnvolle sowie tierwohlorientierte Alternative zur Abluftreinigung darzustellen.

## Literatur

- Kirchgeßner, M.; Kreuzer, M. (1990): Exkrementmengen und N-Ausscheidung in der Broiler- und Legehennenhaltung bei Variationen der Fütterungsintensität an Protein und Energie. *Agrobiologic research* 43(4), S. 348–366
- Li, H.; Lin, C.; Collier, S.; Brown, W.; White-Hansen, S. (2013): Assessment of frequent litter amendment application on ammonia emission from broilers operations. *J Air Waste Manag Assoc.* 63(4), pp. 442–452
- Nahm, K.H. (2003) Evaluation of the nitrogen content in poultry manure. *W Poult Sci J* 59(1), pp. 77–88, DOI: 10.1079/WPS20030004
- TA LUFT (2021): Neufassung der Ersten Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz vom 18. August 2021 (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft). *GMBI* 2021 Nr. 48–54, S. 1050
- Toppel, K.; Andersson, R. (2022): Indoor-Maßnahme zur Ammoniakreduktion in der Geflügelhaltung, Vortrag Euro-Tier, Forum Geflügel Hannover, 17.11.2022
- Toppel, K.; Kaufmann, F.; Schön, H.; Gauly, M.; Andersson, R. (2018): Effect of pH-lowering litter amendment on animal-based welfare indicators and litter quality in a European commercial broiler husbandry. *Poult Sci* 98(3), DOI: <http://dx.doi.org/10.3382/ps/pey489>
- VDI 3894 Blatt 1 (2011): Emissionen und Immissionen aus Tierhaltungsanlagen – Haltungsverfahren und Emissionen (Schweine, Rinder, Geflügel, Pferde)
- VERA (2018): VERA-Prüfprotokoll für Tierhaltungs- und Management-Systeme. Version 3:2018-09, [https://www.vera-verification.eu/app/uploads/sites/9/2019/05/VERA\\_Pruefprotokoll\\_Stallsysteme\\_v3\\_2018.pdf](https://www.vera-verification.eu/app/uploads/sites/9/2019/05/VERA_Pruefprotokoll_Stallsysteme_v3_2018.pdf), Zugriff am 16.08.2023

## Bewertung der NH<sub>3</sub>-Emissionspotenziale von Haltungsverfahren in der Schweinemast

FRANZISKA CHRIST, BRIGITTE EURICH-MENDEN, DIETER HORLACHER, SEBASTIAN WULF

### 1 Einleitung

In den letzten Jahren wurden für Mastschweine zunehmend tiergerechtere Ställe, beispielsweise Außenklimaställe mit Auslauf, gebaut. Aufgrund gesellschaftspolitischer Forderungen, wie z. B. dem Tierhaltungskennzeichnungsgesetz, wird erwartet, dass dieser Trend anhält. Die wachsende Vielfalt an Haltungsverfahren stellt jedoch eine Herausforderung bei der Bewertung der Ammoniakemissionen aus Schweinemastställen dar, insbesondere da nur für eine begrenzte Anzahl an Verfahren vergleichbare Messungen zur Abschätzung der jährlichen NH<sub>3</sub>-Emissionsrate vorliegen.

### 2 Emissionsbewertung im Projekt „InKalkTier“

Im Projekt „InKalkTier“ wird eine Web-Anwendung entwickelt, die es ermöglicht, Tierhaltungsverfahren u. a. hinsichtlich ihrer Ammoniak-, Geruchs- und Staubemissionspotenziale zu beurteilen. Die Entwicklung der Bewertungsmethoden erfolgt unter Beteiligung der projektbegleitenden KTBL-Arbeitsgruppe „Bewertung von Haltungsverfahren hinsichtlich Emissionen“.

#### 2.1 Bewertungsansatz

Methodische Grundlage für die Abschätzung der Ammoniakemissionen sind Stoffflussmodelle (Abb. 1) ausgehend von der Stickstoffstandardausscheidung nach DLG (2014). Für die jeweiligen N-Ausscheidungsmengen werden als potenzielle Emissionsquelle die Mengen an ammoniakalischem Stickstoff (TAN = Total Ammonical Nitrogen) abgeschätzt (KTBL 2014).

Je nach Ausscheidungsort und Größe der emittierenden Fläche werden unterschiedliche Ammoniakemissionsraten angenommen. Die Datengrundlage für die verwendeten Emissionsraten sind die Ergebnisse aus den Projekten „EmiDat“ und „EmiMin“ sowie Literaturwerte und Expertenschätzungen der Arbeitsgruppe. Der Stofffluss wird so moduliert, dass sich die ausgeschiedene TAN-Menge bei Haltungsverfahren mit perforierten Böden auf die Oberfläche des perforierten Bodens sowie die Güllekanäle aufteilt. Bei Haltungsverfahren die Maßnahmen zur Minderung der NH<sub>3</sub>-Emissionen enthalten, wird die Minderung in den jeweiligen Teilabschnitten der Stoffflussmodelle berücksichtigt.

Die Definition von Bezugsverfahren für die einzelnen Produktionsrichtungen ist ein wichtiger Teil des Bewertungsansatzes im Projekt „InKalkTier“, da in der Web-Anwendung die prozentualen Abweichungen zum Bezugsverfahren dargestellt werden. Für die Schweinemast wird die Haltung in einer „vollperforierten Einflächentisch“ als Bezugsverfahren verwendet. Zusätzlich wird das der prozentualen Abweichung zum Bezugsverfahren zugrundeliegende Management beschrieben.

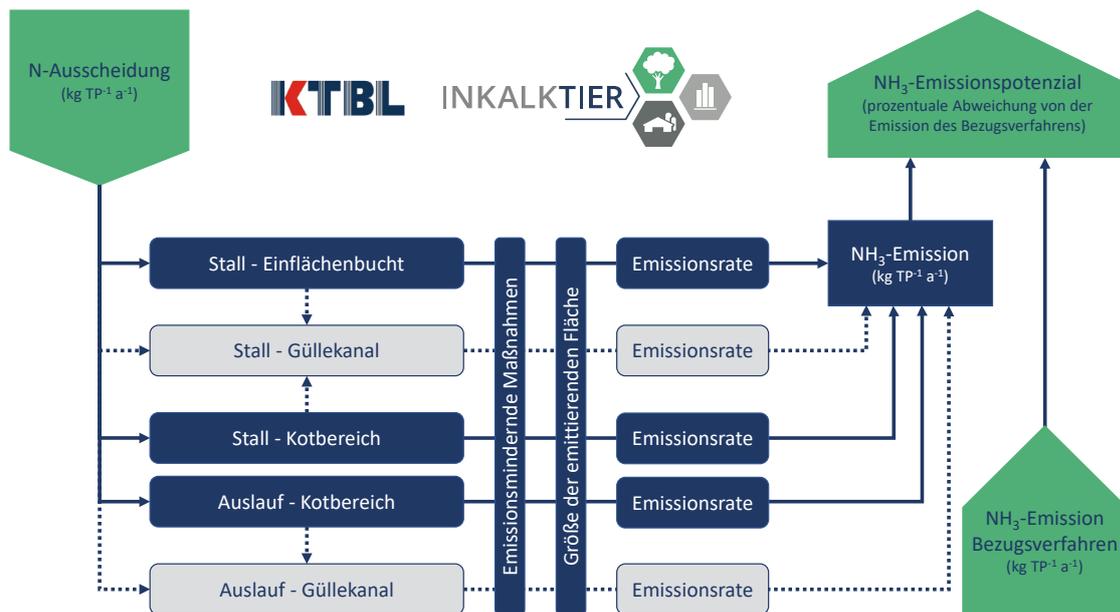


Abb. 1: Schematische Darstellung der Bewertung des NH<sub>3</sub>-Emissionspotenzials aus der Schweinemast im Projekt „InKalkTier“; graue Felder sind nur bei Verfahren mit perforierten Böden relevant (© F. Christ)

## 2.2 Herausforderungen

Mastschweine legen in der Regel Kot-/Harnbereiche an (nachfolgend Kotbereiche genannt), wenn die Buchtengröße dies den Tieren ermöglicht. Zwischen verschiedenen Haltungsverfahren variiert nicht nur die Buchtengröße und damit die verschmutzte Fläche, sondern auch der Perforationsanteil der Stallböden. Beides führt dazu, dass sich die emittierende Fläche in Art und Flächengröße von Verfahren zu Verfahren unterscheidet. Bei einer Einflächenbucht mit einer Buchtengröße von 0,75 m<sup>2</sup> TP<sup>-1</sup> wird die gesamte Buchtengröße als emittierende Fläche betrachtet. Ab einer Buchtengröße von 1,3 m<sup>2</sup> TP<sup>-1</sup> werden von den Tieren meist Kotbereiche angelegt (Ocepek und Andersen 2022), sodass die Buchtenschmutzung vermindert wird und die Emissionsraten je Tierplatz sinken können. Für Buchten mit einer Flächengröße zwischen 0,75 und 1,3 m<sup>2</sup> TP<sup>-1</sup> werden daher funktionelle Zusammenhänge zu den NH<sub>3</sub>-Emissionsraten je TP bzw. je Flächeneinheit erarbeitet. Ergänzend werden Stoffflussmodelle für Festmistverfahren und für Ställe mit baulich-technischen Minderungsmaßnahmen entwickelt.

## 3 Fazit

Im Projekt „InKalkTier“ werden auf Basis von Stoffflussmodellen u. a. NH<sub>3</sub>-Emissionsraten von Haltungsverfahren in der Schweinemast, für die bisher keine Werte vorliegen, abgeschätzt. Die geschätzten Emissionen werden relativ zu einem Bezugsverfahren als Emissionspotenzial dargestellt. Die Qualität der Datengrundlage für diese Schätzungen wird qualitativ angegeben.

## Literatur

- DLG (2014): Bilanzierung der Nährstoffausscheidungen landwirtschaftlicher Nutztiere. Arbeiten der DLG, Band 199, Frankfurt/Main, DLG-Verlag
- KTBL (2014): Festmist- und Jaucheanfall. KTBL-Schrift 502, Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.
- Ocepek, M.; Andersen, I. L. (2022): The Effects of Pen Size and Design, Bedding, Rooting Material and Ambient Factors on Pen and Pig Cleanliness and Air Quality in Fattening Pig Houses. *Animals* 12(12), 1580, <https://doi.org/10.3390/ani12121580>

## Förderhinweis und Danksagung

Die Förderung erfolgt aus Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages. Projektträger ist die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung.

Wir danken den Mitgliedern der KTBL-Arbeitsgruppe „Bewertung von Haltungsverfahren hinsichtlich Emissionen“ für die fachliche Unterstützung im Projekt (<https://www.ktbl.de/themen/inkalktier>).

## Wärmerückgewinnung mithilfe einer Abluftreinigungsanlage in einem Ferkelaufzuchtstall

HAUKE F. DEEKEN, ALEXANDRA LENGING, MANUEL S. KROMMWEH, WOLFGANG BÜSCHER

### 1 Einleitung

Die Schweinehaltung ist eine Quelle von Ammoniak-, Staub- und Geruchsemissionen. Der Einsatz von Abluftreinigungsanlagen wird vermehrt gefordert, um die emittierten Stoffmengen zu senken, insbesondere im Zuge der novellierten TA Luft (2021). Gleichzeitig führen diese Anlagen jedoch zu einem erhöhten Stromkonsum und somit zu indirekten CO<sub>2</sub>-Emissionen, da elektrische Aggregate kontinuierlich betrieben werden müssen. Folglich stellen Abluftreinigungsanlagen quasi einen Kompromiss zwischen klima- und umweltrelevanten Emissionen dar.

Abluftreinigungsanlagen erfordern eine zentrale Luftführung. Die Abluft gibt Wärme an das Waschwasser ab. Diese thermische Energie kann rückgewonnen werden und zur Vorkonditionierung der einströmenden Frischluft genutzt werden. Hierdurch lassen sich fossile Brennstoffe, CO<sub>2</sub>-Emissionen und Heizkosten einsparen.

Das Forschungsprojekt „EnergARA“, bearbeitet vom Institut für Landtechnik der Universität Bonn, untersuchte drei verschiedene Anlagenkombinationen von Abluftreinigung und Wärmerückgewinnung. Im Folgenden wird eine dieser Untersuchungen vorgestellt.

### 2 Material und Methoden

Gegenstand der Untersuchung war das Triple-EEE-System der Firma Inno+ (Panningen, Niederlande), welches in einem Ferkelaufzuchtstall mit 7.680 Tierplätzen eingebaut war. Dieses besteht aus zwei Wasserkreisläufen und zwei Wärmetauschern (Abb. 1). Hierbei wird das Waschwasser eines Chemowäschers zu einem Plattenwärmetauscher geführt, in welchem thermische Energie auf einen zweiten, sauberen Nutzwasserkreislauf übertragen wird. Dieser transportiert die Wärme zu einem Wasser-Luft-Wärmetauscher, der die einströmende Frischluft erwärmt. Wasser- und Lufttemperaturen wurden an neun Messpunkten erfasst. Der Stromkonsum der zwei Wasserpumpen und der Luftvolumenstrom der Stallventilation wurden ebenfalls gemessen. Im Verlauf des ganzjährigen Versuchszeitraums (1. Januar bis 31. Dezember 2021) zeichneten die Sensoren Daten im Messintervall von 10 Minuten auf.

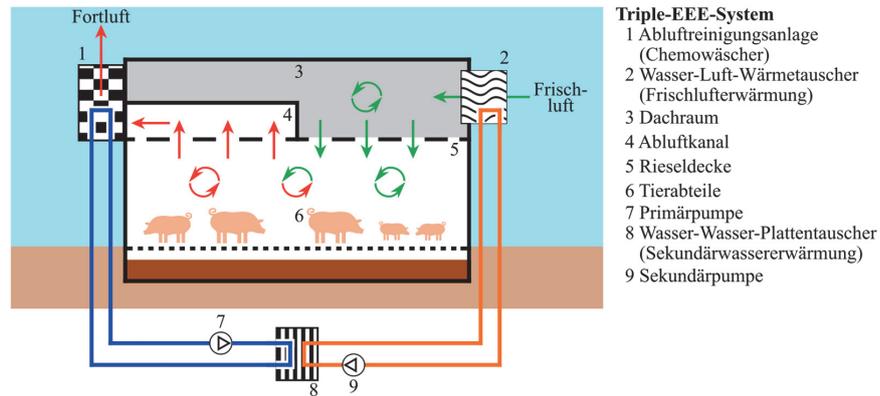


Abb. 1: Funktionsskizze des Triple-EEE-Systems (© H. F. Deeken)

### 3 Ergebnisse und Diskussion

Die Wärmerückgewinnung erzielte in 71,6% des Jahreszeitraums eine Erwärmung der Frischluft mit einer mittleren Änderung von 7,9 auf 12,2 °C. Die Zuluft zeigte hierbei nicht nur höhere Temperaturen, sondern auch reduzierte Temperaturschwankungen im Tages- und Jahresverlauf. Höhere Luftvolumenströme können zu trockeneren Oberflächen und einer verbesserten Luftqualität führen, da sich Schadgase verdünnen können (Han et al. 2013, Deeken et al. 2023). Durch die energieeffiziente Wärmerückgewinnung – im Mittel wurde pro kWh Strom das 27-Fache an thermischer Energie rückgewonnen – wurden bis zu 6,9 l Flüssiggas bzw. 4,8 l Heizöl pro Tierplatz und Jahr eingespart. Die maximale Heizleistung betrug 169 kW bei einer Temperaturerhöhung von 7,8 K. In diesen Momenten konnten durch die Substitution der fossilen Brennstoffe ca. 40 kg CO<sub>2</sub>/h eingespart werden. Die ökologische und ökonomische Nachhaltigkeit der Ferkelaufzucht wurde auf diese Weise positiv beeinflusst (Tab. 1).

Tab. 1: Erzielte Energie-, CO<sub>2</sub>- und Energiekosteneinsparungen durch das Triple-EEE-System

Kriterium	Einheit	Einsparung
Zusätzlicher Stromkonsum	kWh/a	14.775
Rückgewonnene Wärme	kWh/a	400.068
Eingesparte Energie	kWh/(TP · a)	50,17
Eingesparte CO <sub>2</sub> -Emissionen <sup>1)</sup>	kg CO <sub>2</sub> /(TP · a)	11,62
Eingesparte Energiekosten <sup>2)</sup>	€/(TP · a)	3,49

TP = Tierplatz (7.680 TP im Stall)

<sup>1)</sup> Angenommene Emissionsfaktoren: Strom 0,427 kg CO<sub>2</sub>/kWh, Flüssiggas 0,237 kg CO<sub>2</sub>/kWh.

<sup>2)</sup> Angenommene Energiekosten im Jahr 2021: Strom 0,2717 €/kWh, Flüssiggas 0,0580 €/kWh.

## 4 Fazit

Wärmerückgewinnungsanlagen können die Nachhaltigkeit der Schweinehaltung verbessern (Deeken et al. 2023). Dies gilt auch für das vorgestellte Triple-EEE-System, das die im Waschwasser gebundene Wärme nutzt. Hierdurch kann der Luftwäscher als Energiequelle genutzt werden und trägt gleichzeitig zu Kosten- und CO<sub>2</sub>-Emissionsminderungen bei.

## Literatur

- Deeken, H. F.; Lengling, A.; Krommweh, M. S.; Büscher, W. (2023): Improvement of Piglet Rearing's Energy Efficiency and Sustainability using Air-to-Air Heat Exchangers – A two-year case study. *Energies* 16(4), 1799, DOI: 10.3390/en16041799
- Han, H.; Kim, K.; Jang, K.-J.; Han, G.-S.; Lee, I. B (2013): Energy Consumption and Indoor Environment of Broiler Houses with Energy Recovery Ventilators. *Applied Engineering in Agriculture* 29(5), pp. 751–759, DOI: 10.13031/aea.29.9968
- TA Luft (2021): Neufassung der Ersten Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft) vom 18. August 2021

## Förderhinweis

Weitere Informationen finden Sie im Abschlussbericht des Projektes unter <https://hdl.handle.net/20.500.11811/10857>. Das Forschungsprojekt „Nutzung der regenerativen Energiequelle ‚Abluftreinigungsanlage‘ für das Kühlen und Heizen von Tierställen – Fallstudienuntersuchung“ wurde vom Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen gefördert (Kennziffer 41.2019.01).

## Ammoniak- und Geruchsemissionen aus Mastschweineställen mit Auslauf – Ergebnisse aus dem Projekt „EmiDaT“

GIANNA DEHLER, BRIGITTE EURICH-MENDEN, ULRIKE WOLF, DIETER HORLACHER, ALEXEJ SMIRNOV

### 1 Einleitung

Die gesellschaftliche und politische Forderung nach mehr Tierschutz in der Mastschweinehaltung erfordert die Gestaltung von Haltungssystemen mit Auslauf. Eine wichtige Frage ist jedoch, wie die Umweltauswirkungen dieser Systeme in Bezug auf Ammoniak- und Geruchsemissionen erfasst werden können. So wurde das Projekt „Ermittlung von Emissionsdaten zur Bewertung der Umweltauswirkungen der Nutztierhaltung“ (EmiDaT) gestartet. Ermittelt wurden dabei Emissionsraten für Ammoniak und Geruch von Mastschweineställen mit Auslauf in verschiedenen Regionen Deutschlands.

### 2 Methodik

Die Messungen wurden an 8 Mastschweineställen auf Praxisbetrieben über mindestens sechs Messperioden durchgeführt, um die Witterungsvariabilität über ein Jahr hinweg abzubilden. Für zwei Stallvarianten mit Auslauf wurden jeweils vier Betriebe ausgewählt: (1) Schweineställe mit eingestreutem und planbefestigtem Auslauf und (2) Schweineställe mit Spaltenboden im Auslauf und Güllekanal. Zur Ermittlung der Ventilations- und Emissionsraten wurde das Tracergas-Verfahren mit einem künstlichen Tracer ( $\text{SF}_6$ ) nach VERA (2018) angewandt.  $\text{SF}_6$  wurde mit einem konstanten Volumenstrom bodennah zudosiert und die  $\text{SF}_6$ -Konzentrationen in der Luft wurden mittels GC-ECD gemessen. Die Ammoniakkonzentrationen in der Luft wurden gleichzeitig und am selben Ort mit einem FTIR-Messgerät gemessen. Aus der gleichen Probennahmeleitung wurden Geruchsproben in entsprechenden Beuteln gesammelt und später im Labor olfaktometrisch analysiert.

### 3 Ergebnisse und Diskussion

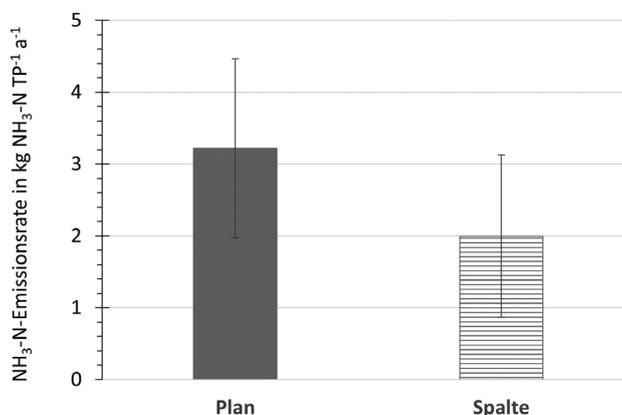


Abb. 1: Mittelwerte der temperaturgewichteten Ammoniakemissionsraten ( $\text{kg NH}_3\text{-N TP}^{-1} \text{a}^{-1}$ ) für die untersuchten Varianten „Plan“ und „Spalte“ (Vertikale Linien kennzeichnen die Standardabweichungen (TP = Tierplatz))

Die Ammoniakemissionsraten für die 8 Schweineställe mit Auslauf lagen zwischen 0,9 und 4,2 kg NH<sub>3</sub>-N Tierplatz<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>, wobei eine hohe Variabilität zwischen den Messergebnissen festgestellt wurde. Folglich wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Varianten ermittelt (Abb. 1). Die berechnete mittlere Ammoniakemissionsrate für die 8 gemessenen Ställe beträgt 2,6 kg NH<sub>3</sub>-N Tierplatz<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> (Standardabweichung 1,3 kg NH<sub>3</sub>-N Tierplatz<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>; mittleres Lebendgewicht während der Mastperiode: 67 kg) (Wolf et al. 2023).

Dieses Ergebnis liegt deutlich unter dem aktuellen Emissionsfaktor von 3,0 kg NH<sub>3</sub>-N Tierplatz<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> für geschlossene, zwangsgelüftete Ställe mit Vollspaltenböden in Deutschland (VDI 3894 2011).

Die mittleren Geruchsemissionsraten der untersuchten Betriebe lagen zwischen 23 und 189 europäischen Geruchseinheiten (GE<sub>E</sub>) s<sup>-1</sup> Großvieheinheit<sup>-1</sup> (Abb. 2). In Anbetracht der begrenzten Anzahl an Messungen konnte keine mittlere jährliche Emissionsrate für Geruch berechnet werden. Während für die unterschiedlichen Ammoniakemissionsraten das jeweilige Stallmanagement eines Betriebs – wie z.B. die Menge des für die Einstreu im Stall verwendeten Stroh sowie die Häufigkeit der Stallreinigung – einen erheblichen Einflussfaktor darstellt, konnte die Ursache für die großen Unterschiede bei den Geruchsemissionsraten nicht abschließend geklärt werden.

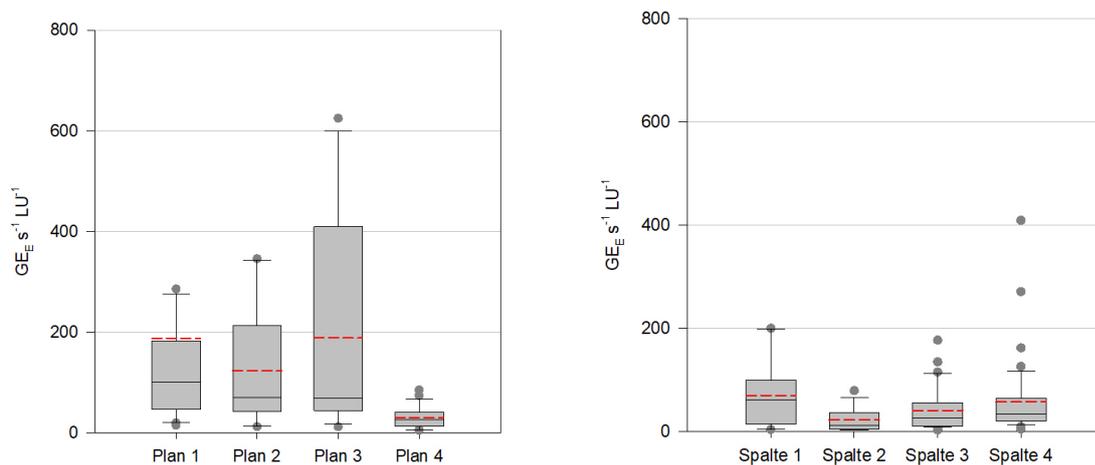


Abb. 2: Geruchsemissionsraten (GE<sub>E</sub> s<sup>-1</sup> LU<sup>-1</sup>) für die untersuchten Varianten „Plan“ und „Spalte“. Die roten und die schwarzen Linien kennzeichnen das arithmetische Mittel bzw. den Median (LU = Livestock Unit = Großvieheinheit) (© KTBL)

## 4 Fazit

Im Rahmen des „EmiDaT“-Projekts wurde ein standardisiertes Messverfahren zur Erfassung von Ammoniakemissionsraten aus Mastschweineställen mit Auslauf entwickelt. Die berechnete mittlere jährliche Ammoniakemissionsrate ermöglicht einen Vergleich dieser Haltungssysteme mit geschlossenen, zwangsgelüfteten Schweineställen: Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass Mastschweineställe mit Auslauf hinsichtlich Ammoniakemissionen generell nicht schlechter zu bewerten sind. Weitere Untersuchungen sind jedoch erforderlich, um die Geruchsemissionen dieser Stalltypen systematisch einordnen zu können.

## Literatur

Wolf, U.; Eurich-Menden, B.; Dehler, G.; Smirnov, A., Horlacher, D. (2023): Wie beeinflusst Auslaufhaltung die Ammoniakemissionen aus Mastschweinställen? Landtechnik 78(3), <https://doi.org/10.15150/lt.2023.3292>

VDI 3894 (2011): Emissionen und Immissionen aus Tierhaltungsanlagen – Haltungsverfahren und Emissionen – Schweine, Rinder, Geflügel, Pferde. VDI 3894 Blatt 1:2011-09, Berlin, Beuth Verlag GmbH

VERA (2018): VERA Test Protocol for Livestock Housing and Management, Systems, Version 3:2018-09. VERA\_Test-protocol\_Housing\_v3\_2018.pdf, Zugriff am 17.08.2023

## Förderhinweis und Danksagung

Die Förderung erfolgt aus Mitteln des Zweckvermögens des Bundes bei der Landwirtschaftlichen Rentenbank, Frankfurt am Main.

Wir danken den Mitgliedern der KTBL-Arbeitsgruppe „EmiDaT“ für die fachliche Unterstützung im Projekt. Weitere Informationen zum Projekt finden sich unter <https://www.ktbl.de/themen/emidat>.

## Ammoniak- und Methanemissionen aus freigelüfteten Milchviehställen – Ergebnisse aus dem Projekt „EmiDaT“

GIANNA DEHLER, BRIGITTE EURICH-MENDEN, ULRIKE WOLF, DIETER HORLACHER, ALEXEJ SMIRNOV

### 1 Einleitung

Im Projekt „Ermittlung von Emissionsdaten zur Bewertung der Umweltauswirkungen der Nutztierhaltung“ (EmiDaT) wurden Ammoniak- und Methanemissionen aus freigelüfteten Milchvieh-Liegeboxenlaufställen in verschiedenen Regionen Deutschlands erhoben. Schwerpunkte des Projekts waren die Ermittlung von Emissionsraten für Liegeboxenlaufställe sowie die Validierung und Etablierung von Messstandards für zukünftige Messvorhaben.

### 2 Methodik

Für die Emissionsmessungen wurden zwölf Milchviehställe ausgewählt. Die untersuchten Liegeboxenlaufställe unterscheiden sich zum einen bezüglich der Bodengestaltung des Laufgangs (planbefestigt oder Spalten) und zum anderen bezüglich des Orts der Güllelagerung (im Stall oder außerhalb des Stalles). Untersucht wurden die folgenden 3 Varianten mit jeweils vier Betrieben:

- „Keller“: Ställe mit Güllekeller unter den Spalten im Laufgang
- „Spalte“: Ställe mit Spaltenböden im Laufgang und Gülleaußenlager
- „Plan“: Ställe mit planbefestigtem Laufgang und Gülleaußenlager

An jedem Untersuchungsstandort wurden in mindestens sechs Messperioden über ein Jahr hinweg Emissionsmessungen durchgeführt. Die Messungen wurden mit einheitlichem Messaufbau und Messroutinen in Anlehnung an VERA (2018) durchgeführt. Der Messaufbau zur Gasprobenahme umfasste eine Sammelleitung in den Stallgebäuden sowie zwei Außenmesspunkte an den Längsseiten der Gebäude. Die Innenleitung und die Außenmesspunkte wurden zeitlich alternierend beprobt und die Gaskonzentrationen ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ) mittels FTIR-Gerät bestimmt. Meteorologische Daten im Außenbereich wurden mit einer Wetterstation in Stallnähe erhoben. In den Stallgebäuden wurden Lufttemperatur, Luftfeuchte und Windgeschwindigkeit gemessen. Zudem wurden die  $\text{NH}_3$ -Hintergrundkonzentrationen mithilfe von Passivsammlern im weiteren Umfeld der Ställe sowie Daten zum Tierbestand und Betriebsmanagement erfasst. Die Berechnung der Ventilations- bzw. Emissionsraten für  $\text{NH}_3$  und  $\text{CH}_4$  erfolgte unter Verwendung von  $\text{CO}_2$  als natürlichem Tracer-Gas mit der Massenbilanzmethode (VERA 2018).

### 3 Ergebnisse und Diskussion

Die ermittelten Emissionsraten der untersuchten Ställe für Ammoniak variieren zwischen 3,9 und 17,3 kg  $\text{NH}_3\text{-N}$  Tierplatz<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> (Abb. 1, links). Zwischen den Varianten „Keller“, „Spalte“ und „Plan“ konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede der temperaturgewichteten Jahresmittelwerte nachgewiesen wer-

den. Das arithmetische Mittel liegt somit für alle Liegeboxenlaufställe bei  $10 \text{ kg NH}_3\text{-N Tierplatz}^{-1} \text{ a}^{-1}$ . Der Tierplatz (TP) wird aufgrund der im Projekt erhobenen Tiergewichte (durchschnittlich 675 kg) mit 1,35 Großvieheinheiten (GV) und Jahr angenommen. Aufgrund unterschiedlicher Bezugstiergewichte ( $1,2 \text{ GV TP}^{-1}$ , VDI 3894 2011) ist die Vergleichbarkeit mit dem bisherigen Wert für Liegeboxenlaufställe von ( $12 \text{ kg NH}_3\text{-N TP}^{-1} \text{ a}^{-1}$ , VDI 3894 2011) nur bedingt möglich. Die vorliegenden Messergebnisse deuten darauf hin, dass trotz der Zunahme der Milchleistung und Lauffläche je Tier in den letzten 20 Jahren der bisherige Wert der Ammoniakemissionen für Milchviehställe vermutlich zu hoch eingeschätzt wurde.

Allerdings wurden statistisch signifikante Unterschiede der Methanemissionsraten zwischen der Variante „Keller“ und den Varianten „Spalte“ bzw. „Plan“ (Abb. 1, rechts) festgestellt. Daraus kann abgeleitet werden, dass der Ort der Güllelagerung die Höhe der Methanemissionen beeinflusst, mit niedrigeren Methanemissionsraten aus dem Stall bei Lagerung der Gülle außerhalb des Stallgebäudes.

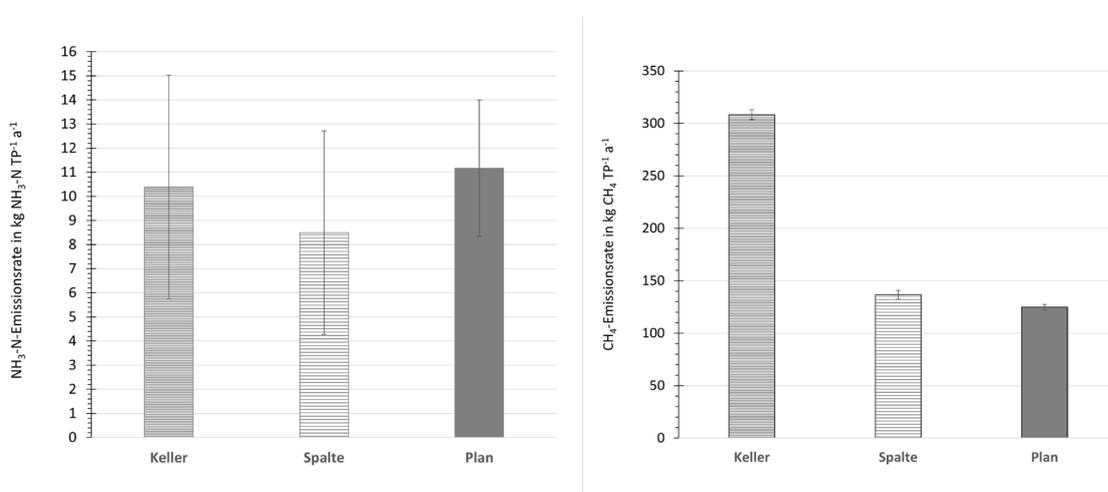


Abb. 1: Mittelwerte der temperaturgewichteten Ammoniak- ( $\text{kg NH}_3\text{-N TP}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ) und Methanemissionsraten ( $\text{kg CH}_4 \text{ TP}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ) für die untersuchten Varianten „Keller“, „Spalte“ und „Plan“ (TP = Tierplatz;  $n = 12$ ) (© KTBL)

#### 4 Fazit

Es konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den verschiedenen Liegeboxenlaufstallvarianten bezüglich der Ammoniakemissionsraten nachgewiesen werden: Die in dieser Untersuchung ermittelte mittlere Ammoniakemissionsrate für alle Liegeboxenlaufstallvarianten beträgt  $10 \text{ kg NH}_3\text{-N TP}^{-1} \text{ a}^{-1}$ .

Die Lagerung von Gülle im Stall ist eine Hauptquelle für Methanemissionen aus landwirtschaftlichen Ställen. Es ist daher sinnvoll Gülle nicht im Stall, sondern in einem geschlossenen Außenlager zu lagern und dabei das entstehende Methan weiterzuverwenden.

Das im Rahmen des „EmiDaT“-Projekts etablierte standardisierte Messverfahren zur Erfassung von Ammoniak- und Methanemissionen in Milchviehställen wurde erfolgreich in anderen Projekten angewendet.

## Literatur

VDI 3894 (2011): Emissionen und Immissionen aus Tierhaltungsanlagen – Haltungsverfahren und Emissionen – Schweine, Rinder, Geflügel, Pferde. VDI 3894 Blatt 1:2011-09, Berlin, Beuth Verlag GmbH

VERA (2018): VERA Test Protocol for Livestock Housing and Management, Systems, Version 3:2018-09. [https://www.vera-verification.eu/app/uploads/sites/9/2019/05/VERA\\_Testprotocol\\_Housing\\_v3\\_2018.pdf](https://www.vera-verification.eu/app/uploads/sites/9/2019/05/VERA_Testprotocol_Housing_v3_2018.pdf), Zugriff am 15.01.2019

## Förderhinweis und Danksagung

Die Förderung erfolgt aus Mitteln des Zweckvermögens des Bundes bei der Landwirtschaftlichen Rentenbank, Frankfurt am Main.

Wir danken den Mitgliedern der KTBL-Arbeitsgruppe „EmiDaT“ für die fachliche Unterstützung im Projekt. Weitere Informationen zum Projekt finden sich unter <https://www.ktbl.de/themen/emidat>.

## Welche Mengen tierischer, landwirtschaftlicher Produkte können in Deutschland umweltverträglich produziert werden?

NELE DREIBACH, ANNE BIEWALD, NICK DÜHR, FREDERIKE BALZER, DIANA SORG

### 1 Einleitung

Ein tiefgreifender Wandel des Agrar- und Ernährungssystems ist notwendig, damit wir uns dauerhaft innerhalb der ökologischen Leitplanken ernähren können. Ziel des Projektes „Landwirtschaft und Ernährung mit Zukunft“ ist es daher, einen Vorschlag für eine langfristige Gesamtstrategie zur Transformation des landwirtschaftlichen Produktionssystems zu entwickeln. Das hier vorgestellte Teilprojekt beschäftigt sich mit der zentralen Frage, wie viele Nutztiere wir in Deutschland maximal halten können, ohne dabei die gesetzlich festgelegten Umweltzielen zu verfehlen. Die weiteren Schwerpunkte der Gesamtvorhabens sind nachhaltige Ernährungsmuster, ökologische Anbausysteme und Politikinstrumente für den Transformationsprozess.

### 2 Methodisches Vorgehen

Eine Verringerung des Nutztierbestands ist eine viel diskutierte Umwelt- und Klimaschutzmaßnahme. Eine aus Nachhaltigkeitsperspektive maximale, wissenschaftlich abgeleitete Bestandsgröße wurde für Deutschland aber noch nicht bestimmt. In unserem Vorhaben wollen wir deswegen Obergrenzen für Tierzahlen in Abhängigkeiten von politisch gesetzten Umweltzielen ableiten.

#### Identifikation von europäischen und national festgelegten Umweltzielen und Grenzwerten

Die zu berücksichtigenden Umweltziele (Abb. 1) werden zusammengestellt und Zielwerte aus verbindlichen Gesetzen und nicht verbindlichen Strategien identifiziert. Sind keine Zielwerte vorhanden, werden diese wissenschaftlich fundiert abgeleitet und mit Experten abgestimmt. Dabei ist eine weitere zentrale Frage, die im Vorhaben geklärt werden muss, welche Verschmutzungsrechte der Nutztierhaltung zugeschrieben werden. Das gilt zum Beispiel für die Höhe der erlaubten Stickstoffeinträge in sensible Ökosysteme, da Stickstoff auch aus anderen Quellen stammt.



Abb. 1: Darstellung der Umweltziele, die in ihrer Erreichung durch die Nutztierhaltung beeinträchtigt werden (© N. Dreisbach)

### Entwicklung von verschiedenen Szenarien für die Nutztierhaltung

In verschiedenen Szenarien werden diverse Managementsysteme für die Nutztierhaltung abgebildet, welche die Aspekte Tierwohl, Umweltschutz, Klimaschutz und Produktionsoptimierung berücksichtigen. So soll zum Beispiel die maximal mögliche Intensivierung der Tierleistungen mit Steigerungen der Produktion der extensiven Weidehaltung gegenübergestellt werden, in welcher der Schwerpunkt eher auf Tierwohl und Förderung der Biodiversität liegt. Auch technische Klimaschutzmaßnahmen sollen in einem Szenario integriert werden und einem Szenario mit Schwerpunkt auf Tierwohl gegenübergestellt werden. Beispielsweise können geschlossene, güllebasierte Schweineställe mit Abluftreinigung die Ammoniakemissionen senken, ein auf Tierwohl ausgelegter Schweinestall ist offen, eingestreut und bietet Auslauf.

Neben „Extremszenarien“, die sich auf einzelne Zielaspekte fokussieren, sollen aber auch Szenarien entwickelt werden, die verschiedene Aspekte bestmöglich kombinieren. Das bedeutet, dass sich die maximalen Tierbestandszahlen und damit auch die Produktionsmenge der Szenarien unterscheiden werden, auch wenn die Einhaltung der Umweltziele immer gleich ist.

### Modellierung der Umweltwirkung der einzelnen Szenarien und Ableitung von maximalen Tierzahlen

Für die Bestimmung der maximalen Tierbestandszahlen werden zunächst die Umweltwirkungen der Nutztierhaltung berechnet. Die Freisetzung von Luftschadstoffen wie Ammoniak und Treibhausgasen wird beispielsweise mit dem Thünen-Modell „PY-GAS-EM“ modelliert. Aber auch Stickstoffüberschüsse und Stickstoffeinträge in Grund- und Oberflächengewässer sowie Ökosysteme sollen modelliert werden. In einem iterativen Verfahren werden die Tierzahlen für jedes Umweltziel dann so weit reduziert, bis dieses erfüllt ist. Der aus Nachhaltigkeitssicht maximale Tierbestand bestimmt sich dann an dem am schwersten zu erfüllenden Umweltziel.

Für die Modellierung werden Daten auf kleinstmöglicher räumlicher Aggregation genutzt, dabei ist das Ziel, möglichst viele Informationen auf Kreisebene in das Modell einzuspeisen. Am Ende soll für jedes Haltungsszenario und jedes Umweltziel ein maximaler Tierbestand auf Kreisebene und auf Deutschlandebene bestimmt werden.

Abbildung 2 zeigt das geplante methodische Vorgehen für die Beantwortung der Forschungsfrage „Welche Mengen tierischer, landwirtschaftlicher Produkte können in Deutschland umweltverträglich produziert werden?“.

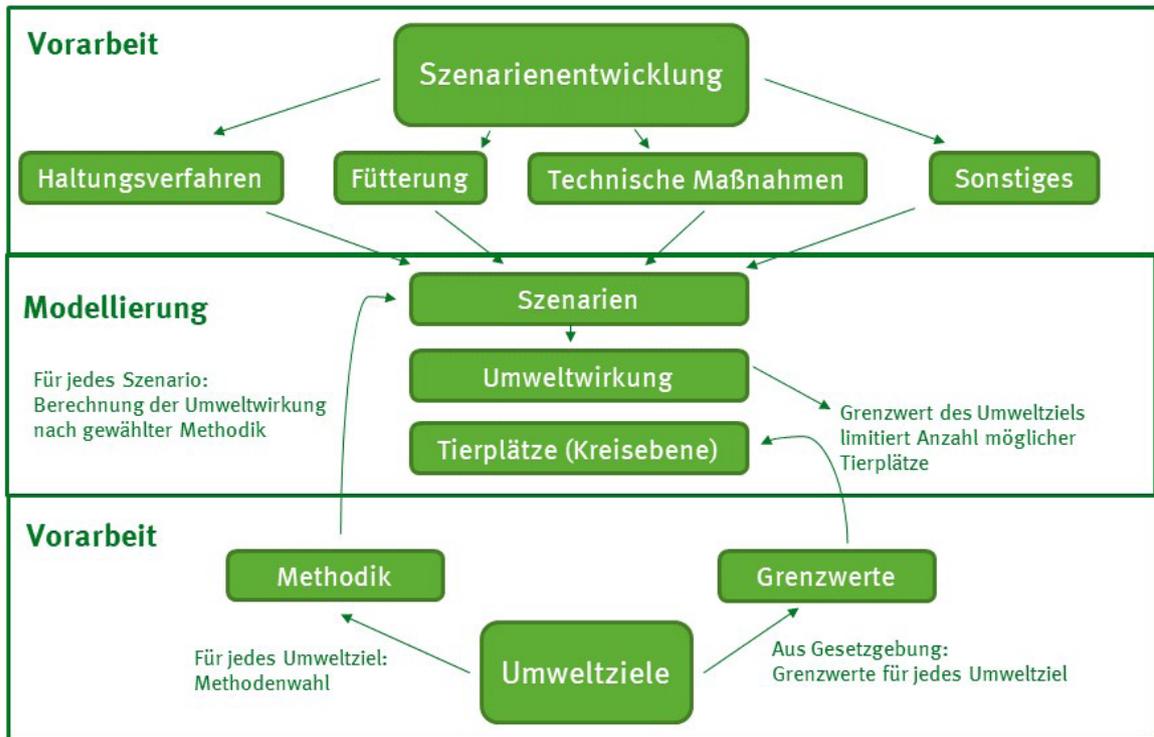


Abb. 2: Vorgehen für die Bearbeitung der Forschungsfrage „Wie viele Mengen tierischer Lebensmittel können in Deutschland umweltverträglich produziert werden?“ (© N. Dreisbach)

## Untersuchungen zum Einfluss innovativer Haltungssysteme auf die Höhe der Umweltwirkungen

JULIA DREWS, CLAUD DEBLITZ

### 1 Einleitung

Vor dem Hintergrund einer wachsenden Weltbevölkerung und einer gleichzeitig schrumpfenden Anbaufläche für Nahrungsmittel pro Kopf ist die effiziente Nutzung von Ressourcen elementar, um alle Menschen ernähren zu können (FAO 2018). Gleichzeitig rücken für die Verbraucher Aspekte wie tiergerechte Hal- tungs- und nachhaltige Bewirtschaftungsformen zunehmend in den Fokus und beeinflussen deren Kauf- entscheidungen (Sala et al. 2017). Hier setzt das Verbundprojekt „InnoRind“ an, welches unter dem Titel: „Innovationsnetzwerk Rind – zukunftsfähige Rinderhaltung in Deutschland unter Berücksichtigung von Tierwohl, Umweltwirkungen und gesellschaftlicher Akzeptanz“ auf Versuchsbetrieben bundesweit innova- tive Haltungskonzepte bei Kälbern, Milchkühen und Mastrindern erprobt.

### 2 Zielstellung im Projekt „InnoRind“

Emissionen aus der Landwirtschaft, vor allem von Lachgas und Methan, werden immer wieder kritisch diskutiert. In der Rinderhaltung fallen bedingt durch die Physiologie und Verdauung der Tiere etwa 95 % oral und 5 % rektal ausgestoßenes Methan an. Die Methode der Ökobilanzierung ermöglicht die Quanti- fizierung von Emissionen und Ressourcennutzung entlang der gesamten Prozesskette eines Produktions- systems (Guinée et al. 2002). Im Rahmen des Querschnittsthemas „Umweltwirkungen“ wird untersucht, ob innovative Haltungskonzepte, die mit einer höheren Verbraucherakzeptanz einhergehen, auch eine höhere Umwelteffizienz aufweisen. Hierzu werden die Ökobilanzen der Versuchsbetriebe vor und nach Etablierung der innovativen Haltungskonzepte je Kilogramm erzeugtem Produkt berechnet und verglichen.

### 3 Daten und Methode

Im System der Milchproduktion sind einzelbetriebliche Daten aus der vorgelagerten Produktion (u. a. Dün- gemittel und Kraftstoffe), der außerbetrieblichen (u. a. Kraftfutterherstellung, Produktion und Weiterver- arbeitung von Futtermitteln) und der innerbetrieblichen Produktion (u. a. Grundfutterproduktion, -kon- servierung/-lagerung, Melkprozess und damit verbundene Arbeiten) der jeweiligen Betriebe notwendig, um Emissionen und weitere Umweltwirkungen spezifisch bilanzieren zu können (siehe schematische Dar- stellung in Abb. 1). Die jeweiligen Haltungssysteme bzw. -varianten (Betriebsstandard und Innovation) werden mit den in Excel-Dateien gebündelten Daten gespeist und die Umweltwirkungen je gewünschter Produkteinheit unter Nutzung der Ökobilanz-Software „SimaPro“ ermittelt. Der Betriebsstandard soll an- schließend mit der Variante des innovativen Haltungssystems sowie der aktuellen internationalen Litera- tur verglichen werden.

## 4 Ausblick

Erste Ergebnisse zu den Ökobilanzen werden ab 2024 erwartet. Auf Grundlage der Betrachtung verschiedener Systeme (Kälberaufzucht, Milch- und Mastrinderhaltung), diverser Tierhaltungsregionen (Nordost, West, Süd) und Standorte (9 Versuchsbetriebe) werden die Identifizierung von „Hotspots“ und die Ableitung von Reduktionspotenzialen für Umweltwirkungen mit perspektivischer Übertragbarkeit auf die breite betriebliche Praxis möglich. Weiterhin können potenzielle Zielkonflikte, z. B. zwischen Tierwohl und Umweltwirkungen, abgeleitet und adressiert werden.

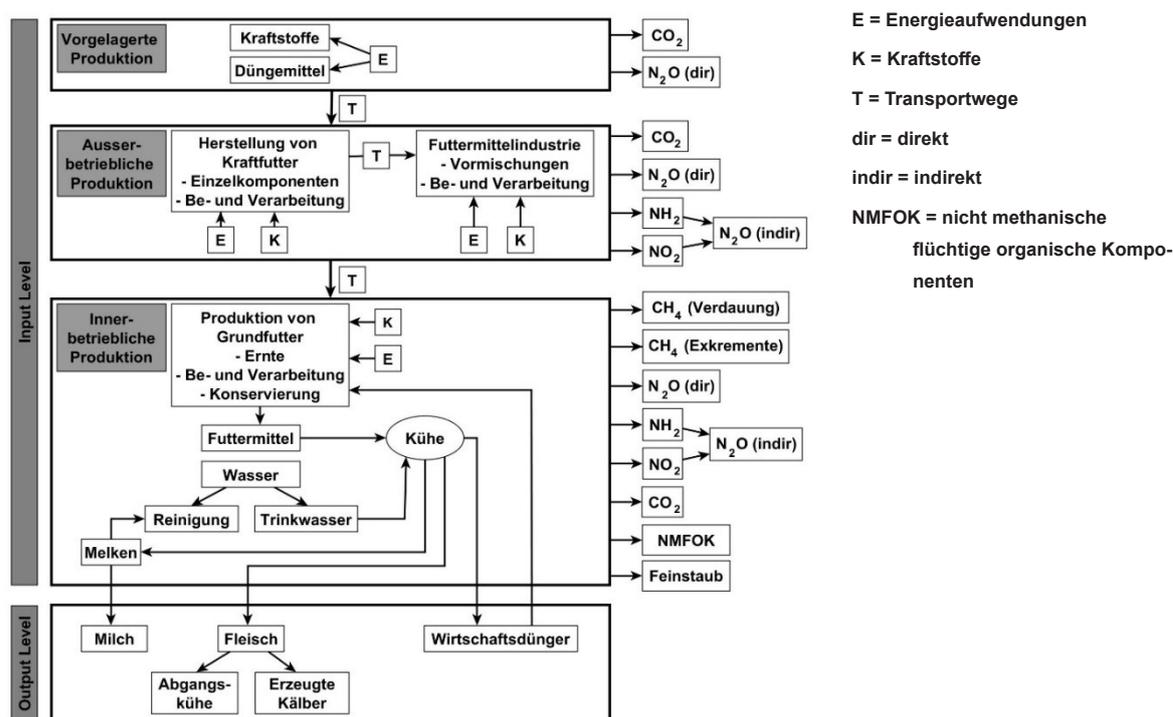


Abb. 1: Schema der in die Ökobilanzierung einbezogenen Prozess- und Produktebenen (© J. Drews)

## Literatur

FAO (2018): Feeding people, protecting the planet. FAO and the GEF

Guinée, J. B. et al. (2002): Handbook on life cycle assessment. Operational guide to the ISO standards. Eco-efficiency in industry and science 7, Dordrecht (Netherlands), Kluwer Academic Publishers

Sala, S.; Anton, A.; McLaren, S. J.; Notarnicola, B.; Saouter, E.; Sonesson, U. (2017): In quest of reducing the environmental impacts of food production and consumption. Journal of Cleaner Production 140, pp. 387–398, DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.09.054

## Projektbeteiligte

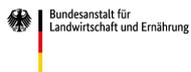


Gefördert durch



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Projekträger



## Projektvorstellung „MoMiNE“ – Modellierung der N-Ausscheidung von Milchrindern zur Verbesserung der Nationalen Emissionsinventare und der einzelbetrieblichen Einschätzung

CAROLINE DREYER, BERND LOSAND, PETER SANFTLEBEN

### 1 Einleitung

Die Klimarelevanz der Landwirtschaft steht im allgemeinen Fokus und es ist Aufgabe der Wissenschaft, Methoden und Minderungsmaßnahmen zu entwickeln, die einen sinnvollen Beitrag zur Absenkung der deutschen THG-Emissionen leisten. Die in Deutschland verursachten Ammoniakemissionen kommen zum größten Teil aus der Nutztier- und vor allem Milchkuhhaltung. Ammoniak ist nicht nur gesundheitsbelastend für Mensch und Tier, sondern verursacht durch seine Beteiligung an direkten und indirekten Lachgasemissionen auch klimarelevante Umweltbeeinträchtigungen (Umweltbundesamt 2023).

Die effizienteste Maßnahme zur Minderung von Ammoniakemissionen ist die Minderung der Stickstoffaufnahme und damit auch -ausscheidung der Tiere durch eine hinsichtlich des Stickstoffbedarfs optimierte Ausgestaltung von Futter und Fütterung. Die Umsetzung der rechtlichen Rahmenbedingungen, wie der Düngeverordnung (DüV 2017) und der Stoffstrombilanzverordnung (StoffBiV 2017), erfordert dabei eine möglichst genaue Kalkulation der Stickstoffausscheidungen landwirtschaftlicher Nutztiere. Die komplexen Recyclingmechanismen von Stickstoff im leistungsabhängigen Stoffwechsel der Milchkuh stellen eine absolute Besonderheit dar, die es bei Modellierungen zu berücksichtigen gilt.

### 2 Projektziele

Das Verbundprojekt „MoMiNE“ hat sich unter der Koordination des Thünen-Instituts für Agrarklimaschutz in Braunschweig und in Zusammenarbeit mit den Projektpartnern des Friedrich-Löffler-Instituts in Braunschweig, der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft in Grub und der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern in Dummerstorf zum Ziel gesetzt, die Verfahren zur nationalen Berichterstattung von Ammoniakemissionen weiterzuentwickeln. Die Schätzgleichungen sollen auf Grundlage einfach zu erhebender Kennzahlen wie Milchleistung und -inhaltsstoffe, vor allem des Milhharnstoffgehaltes, angepasst werden.

Es soll eine Methodik entwickelt werden, die es ermöglicht, den Einfluss von Milchleistung sowie Futter und Fütterung auf die Stickstoffausscheidungen von Milchkühen und die daraus folgenden  $\text{NH}_3$ -Emissionen jährlich dynamisch abzubilden.

Im Betriebskontext werden Minderungsmaßnahmen hinsichtlich der Stickstoffausscheidungen von Milchkühen mit Fütterungsversuchen zur rohproteinreduzierten Rationsgestaltung überprüft und ein Tool entworfen, das den Milchviehbetrieben individuell Auskunft über die fütterungsbedingten  $\text{NH}_3$ -Emissionen und deren Minderungspotenzial gibt.

### 3 Daten und Methoden

Bei den zur Modellierung verwendeten Daten handelt es sich um die Milchkontrolldaten aller Bundesländer Deutschlands aus den Jahren 2005 bis 2020. Parallel dazu findet eine Datenerhebung zu den Informationen der bundesweiten Fütterung im selben Zeitraum statt. Dazu gehören Grundfutteranalysen, Analysen von Kraft- und Mischfutter und die auf Grundlage der betriebseigenen Grundfutteranalysen berechneten und tatsächlich gefütterten Rationen.

Ebenfalls verwendet werden die in den Verbundprojekten „eMissionCow“ und „optiKuh“ erhobenen tierindividuellen Erfassungsdaten zur Nährstoff- und Energieaufnahme sowie Milchanalysen. Die Kenntnis der Futteraufnahme sowie Nährstoffgehalte ermöglichen in Verbindung mit Leistungsdaten eine Berechnung der Nährstoffausscheidungen (Salden). Diese Nährstoffsalden können dann mit Schätzgleichungen zur Stickstoffausscheidung von Milchkühen aus internationaler Literatur verglichen werden.

Die Kenntnis der Einflussfaktoren auf den Milchharnstoffgehalt sind Voraussetzung für die Entwicklung einer Schätzformel, die diesen berücksichtigt. Verschiedene Studien belegen nicht fütterungsbedingte Einflüsse auf den Milchharnstoffgehalt (Richardt et al. 2001, Schwarz et al. 2020). Aus diesem Grund werden Milchkontrolldaten inklusive Zelldifferenzierung aus Thüringen und Mecklenburg-Vorpommern hinsichtlich der Euter- und Stoffwechselgesundheit und deren Einfluss auf den Milchharnstoffgehalt ausgewertet. Ergänzt werden diese Auswertungen mit Fütterungsversuchen zur proteinreduzierten Fütterung, um mögliche gesundheitliche Auswirkungen geringer Rohproteingehalte in der Ration bzw. um die Grenzen einer proteineffizienten Rationsgestaltung zu bestimmen.

Die entwickelten Emissionsmodelle werden mithilfe von Praxisbetrieben auf ihre Anwendbarkeit und Richtigkeit evaluiert.

### 4 Ausblick

Die Kenntnis der eigenen  $\text{NH}_3$ -Emissionen ist für den Betrieb der Ausgangspunkt zur Implementierung von Emissionsminderungsmaßnahmen. „MoMiNE“ setzt dabei am Anfang des Nährstoffkreislaufes bei der Proteinfütterung der Milchkühe an. Unter der Maßgabe der Verringerung von Nährstoffüberschüssen und einer effizienten Ressourcennutzung soll ein praxistaugliches Tool den Landwirt bei der Einschätzung seiner Fütterungssituation unterstützen und ihm Minderungspotenziale aufzeigen.

Die Zusammenführung der Daten zur Entwicklung der Milchkuhfütterung und der Milchkontrollen der letzten 15 Jahre aus ganz Deutschland ist neu und repräsentativ. Sie wird nicht nur Aufschluss über die  $\text{NH}_3$ -Emissionen der Vergangenheit und deren Veränderungen geben, sondern als wertvolle Datengrundlage für die Neumodellierung einer verbesserten Schätzgleichung der N-Ausscheidungen von Milchkühen in Deutschland dienen.

## Literatur

- DüV (2017): Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenschutzmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung) vom 26. Mai 2017 (BGBl. I S. 1305), die zuletzt durch Artikel 97 des Gesetzes vom 10. August 2021 (BGBl. I S. 3436) geändert worden ist
- Richardt, W.; Jeroch, H.; Spilke, J. (2001) Fütterungs- und nicht fütterungsbedingte Einflüsse auf den Milchharnstoffgehalt von Milchkühen. 2. Mitteilung: Nicht fütterungsbedingte Einflussfaktoren auf den Milchharnstoffgehalt von Milchkühen. Archiv Tierzucht, Dummerstorf 44, No. 5, S. 505–519
- Schwarz, D.; Kleinhans, S.; Reimann, G.; Stückler, P.; Reith, F.; Ilves, K.; Pedastsaar, K.; Yan, L.; Zhang, Z.; Valdivieso, M.; Barreal, M. L.; Fouz, R. (2020) Investigation of dairy cow performance in different udder health groups defined based on a combination of somatic cell count and differential somatic cell count. Preventive Veterinary Medicine 183, 105123
- 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), die durch Artikel 98 des Gesetzes vom 10. August 2021 (BGBl. I S. 3436) geändert worden ist
- Umweltbundesamt (2023) Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen seit 1990, Emissionsentwicklung 1990 bis 2021

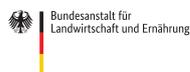
## Projektbeteiligte und Förderung

Gefördert durch



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Projektträger



Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei



Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft



FRIEDRICH-LOEFFLER-INSTITUT



Bundeforschungsinstitut für Tiergesundheit  
Federal Research Institute for Animal Health

## Signifikante Ammoniak- und Methanminderung durch stallinterne Flüssigmistansäuerung

VERONIKA EBERTZ, MANFRED TRIMBORN, JOACHIM CLEMENS, RICHARD HÖLSCHER,  
WOLFGANG BÜSCHER

### 1 Einleitung

Die novellierte TA Luft sieht eine deutliche Ammoniak(NH<sub>3</sub>)-Minderung vor. NH<sub>3</sub> emittiert u.a. aus dem Flüssigmist. Gleichzeitig ist in der Schweinehaltung die Lagerung von Flüssigmist die Hauptemissionsquelle für das klimaschädliche Methan (CH<sub>4</sub>). Ziel dieser Untersuchung war es, die NH<sub>3</sub>- und CH<sub>4</sub>-Emissionen durch eine Ansäuerung des Flüssigmistes zu reduzieren. Die dazu notwendige Technik sollte in bestehenden Schweineställen nachgerüstet werden können, sodass eine Nutzung der Flüssigmistkanäle unter den Spaltenböden als Lagerraum weiterhin möglich ist.

### 2 Material und Methoden

Die Untersuchungen wurden vom 4.3. bis 20.5.2020 („Frühjahr“, 70 d), 18.6. bis 11.9.2020 („Sommer I“, 84 d) und 10.6. bis 8.9.2021 („Sommer II“, 84 d) auf dem Campus Frankenforst der Universität Bonn durchgeführt. Neben dem Schweinemastabteil mit Ansäuerungsmöglichkeit (Teilspaltenboden, 32 Tiere) stand ein baugleiches Referenzabteil zur Verfügung. Die Ansäuerung des Flüssigmistes fand in einem externen Prozessbehälter statt, der während des Ansäuerungsprozesses belüftet wurde. Mindestens zweimal wöchentlich wurde Gülle aus den Flüssigmistkanälen des Stalles in den Prozessbehälter gepumpt. In Abhängigkeit des aktuellen pH-Wertes wurde Schwefelsäure unter ständigem Rühren in den Flüssigmist zudosiert (Ziel-pH-Wert von 5,5), wodurch sich das Ammonium-Ammoniak-Gleichgewicht in Richtung Ammonium verschob. Im Anschluss an diesen Prozess wurde der frisch angesäuerte Flüssigmist zurück in den Flüssigmistkanal gepumpt. Der angesäuerte Flüssigmist wurde vollständig bis zum Mastende unter dem Spaltenboden gelagert. Die NH<sub>3</sub>- und CH<sub>4</sub>-Konzentrationen wurden in der Abluft des Kontroll- und Versuchsabteils ( $C_{\text{inside}}$  in g kg<sup>-1</sup> Luft) sowie in der Zuluft ( $C_{\text{outside}}$  in g kg<sup>-1</sup> Luft) gemessen (photoakustische Infrarotspektroskopie) und mit dem Abluftmassenstrom ( $D$  in kg Luft h<sup>-1</sup>) zum Emissionsmassenstrom ( $E_{\text{Gas}}$  in g h<sup>-1</sup>) anhand folgender Gleichung verrechnet:

$$E_{\text{Gas}} = D \cdot (C_{\text{inside}} - C_{\text{outside}}) \quad (\text{Gl. 1})$$

### 3 Ergebnisse und Diskussion

Durch die Ansäuerung des Flüssigmistes konnten in allen drei Mastdurchgängen sowohl die  $\text{NH}_3$ - (ca. -40 %) als auch  $\text{CH}_4$ -Emissionen (ca. -67 %) signifikant gemindert werden (Abb. 1). Petersen et al. (2016) geben eine  $\text{NH}_3$ -Reduktion zwischen 44 und 71 % an. Möglicherweise könnte der obenauf verschmutzte planbefestigte Boden die Effizienz der Ansäuerungstechnik gemindert haben. Die  $\text{CH}_4$ -Emissionen wurden in der vorliegenden Untersuchung im Vergleich zu anderen Studien stärker reduziert (Petersen et al. 2016, Jonassen und Holm 2016). Auffällig ist, dass die  $\text{CH}_4$ -Emissionen im Ansäuerungsabteil unabhängig von der Jahreszeit immer auf dem gleichen niedrigen Niveau waren, während in dem Kontrollabteil die  $\text{CH}_4$ -Emissionen im Versuchszeitraum angestiegen sind. Dies könnte an der technischen Flüssigmistrestmenge zwischen den Mastdurchgängen liegen, die als Inokulum für den darauffolgenden Durchgang diente (Sommer et al. 2007).

Weitere Ergebnisse sind in Overmeyer et al. (2023) dargestellt.

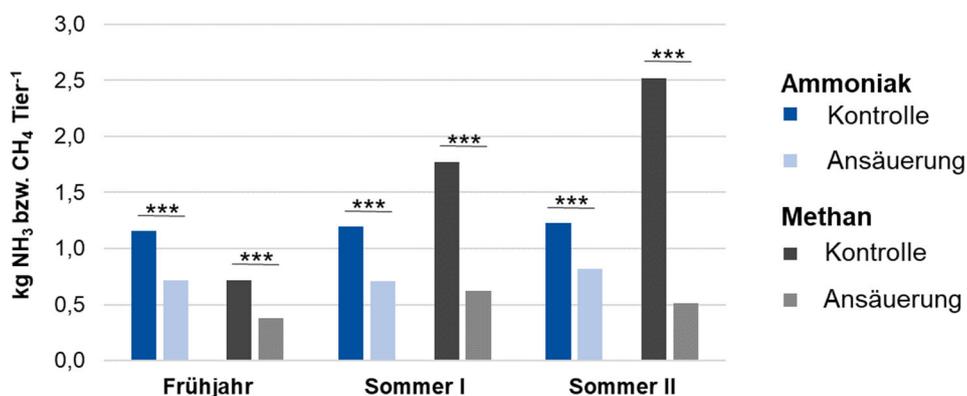


Abb. 1:  $\text{NH}_3$ - und  $\text{CH}_4$ -Emissionen ohne (Kontrolle) und mit Ansäuerung des Flüssigmistes aus einem Schweinemastabteil während dreier Mastdurchgänge, im Mastdurchgang „Frühjahr“ wurde der Ziel-pH-Wert von 5,5 erst bei einem Tiergewicht von 74 kg erreicht, \*\*\* = signifikante Unterschiede ( $p < 0,001$ ) (© V. Ebertz)

### 4 Fazit

Die Ansäuerung von Flüssigmist ist auch als Nachrüstlösung für bereits bestehende Schweinemastställe denkbar. Somit ist die Nutzung der Lagerkapazitäten unter den Spaltenböden weiterhin möglich. Da lediglich die  $\text{NH}_3$ -Emissionen aus dem Flüssigmist gemindert werden, nicht aber jene, die von verschmutzten Oberflächen stammen, kann eine Verbesserung der Buchtenhygiene die Effizienz der Flüssigmistansäuerung steigern. Durch eine frühzeitige Ansäuerung des Flüssigmistes können die  $\text{NH}_3$ - und  $\text{CH}_4$ -Emissionen während der gesamten Wirtschaftsdüngermanagementkette (Lagerung, Ausbringung) gemindert werden. Gleichzeitig wird durch die verbesserte Luftqualität im Stall auch das Tierwohl gesteigert.

## Literatur

- Jonassen, K.; Holm, M. (2016): Ammonia, methane, and odour abatement from pig housing by acidification and separation of the slurry. In: 4<sup>th</sup> International Conference of the International Commission of Agricultural and Biosystems Engineering (CIGR), Aarhus (Denmark), 26.06–29.06.2016
- Overmeyer, V.; Trimborn, M.; Clemens, J.; Hölscher, R.; Büscher, W. (2023): Acidification of slurry to reduce ammonia and methane emissions: Deployment of a retrofittable system in fattening pig barns. *J. Environ. Manag.* 331, 117263, doi.10.1016/j.jenvman.2023.117263
- Petersen, S. O.; Hutchings, N. J.; Hafner, S. D.; Sommer, S. G.; Hjorth, M.; Jonassen, K. E. (2016): Ammonia abatement by slurry acidification: A pilot-scale study of three finishing pig production periods. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 216, pp. 258–268, doi.10.1016/j.agee.2015.09.042
- Sommer, S. G.; Petersen, S. O.; Sørensen, P.; Poulsen, H. D.; Møller, H. B. (2007): Methane and carbon dioxide emissions and nitrogen turnover during liquid manure storage. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 78, pp. 27–36, doi.org/10.1007/s10705-006-9072-4

## Förderhinweis

Die Förderung des Vorhabens erfolgte aus Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages. Die Projektträgerschaft erfolgte über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) im Rahmen des Programms zur Innovationsförderung (FKZ: 281B102316).

## Nachweis der sicheren Verwendung für die praktische Anwendung eines Ureaseinhibitors zur Minderung von Ammoniakemissionen in Rinderställen (Prax REDUCE)

ANNIKA EHMKE, JENS KARL WEGENER, ANDREAS MELFSEN, EBERHARD HARTUNG

### 1 Einleitung

Ammoniakemissionen stammen mit einem Anteil von 95% aus der Landwirtschaft, ein Großteil davon aus der Tierhaltung (UBA 2022). Um die durch die NEC-Richtlinie (EU) 2016/2284 geforderten Zielsetzungen einer Minderung um 29% gegenüber dem Jahr 2005 bis zum Jahr 2030 zu erreichen, sind weitere Maßnahmen zur Ammoniakemissionsreduktion erforderlich.

Durch die Ausbringung eines Ureaseinhibitors (UI) auf dem Stallboden kann die Umwandlung von Harnstoff zu Ammoniak und Kohlenstoffdioxid verringert werden. Durchschnittliche jährliche Minderungen der Ammoniakemissionen um 58% wurden bereits nachgewiesen (Bobrowski et al. 2021).

Für den Praxiseinsatz des UI (enthalten in Atmowell®) wurden im Rahmen des Projektes „Prax REDUCE“ sowohl zwei Applikationstechniken (Schleppschlauchsystem, Entmistungsroboter) zur gleichmäßigen und automatisierten Ausbringung entwickelt als auch der Nachweis der sicheren Verwendung für Tier, Mensch und Umwelt erbracht. Die durchgeführte Risikobewertung beruht bisher auf Modellrechnungen und konservativen Annahmen (Haselbach und Jansen-Bouriatchenko 2022). Für eine realitätsnähere Abbildung des Risikos können gemessene Expositionsdaten (dermale und inhalative) herangezogen werden.

Die Messmethodik zur Erhebung dieser Expositionen beruht auf dem Ansatz der Fluorometrie. Der fluoreszierende Farbstoff Pyranin in Kombination mit dem Kollektor Tyvek wurde bereits für dermale Expositionsmessungen bei Anwendern in Traktorkabinen (Molnar et al. 2023) und bei Umstehenden bei der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln in Raumkulturen verwendet (Ahrens et al. 2023).

Da Pyranin ein vergleichbares Spritz- und Driftverhalten wie der UI besitzt (Ehmke et al. 2023), kann dieser methodische Ansatz auf den Anwendungsbereich der Ausbringung eines Ureaseinhibitors in der Rinderhaltung übertragen werden.

### 2 Versuchsdurchführung

Im Jahr 2022 erfolgten Messungen von dermalen und inhalativen Expositionen mit den oben genannten Applikationstechniken unter Praxisbedingungen im Rinderstall.

Bei der Erfassung von dermalen Expositionen wurde eine Modellkuh mit dem Kollektor Tyvek verkleidet. Für das Schleppschlauchsystem wurden zwei Worstcase-Szenarien „über die Kuh“ und „an der Kuh vorbei“ berücksichtigt. Für den Entmistungsroboter wurden Expositionsdaten für das Worst-Case-Szenario „bis an die Kuh ran“ erhoben. Jeweils zehn Wiederholungen wurden durchgeführt.

Die Erfassung von inhalativen Expositionen beim Rind erfolgte mittels einer Aerosolsammelpumpe in Kombination mit Nylonfiltern als Kollektor. Der eingestellte Volumenstrom der Aerosolsammelpumpe entspricht mit 100 l/min dem eines ruhenden 650 kg schweren Rindes. Sowohl für das Schleppschlauchsys-

tem als auch für den Entmistungsroboter wurden drei unterschiedliche Szenarien in zwölfmaliger Wiederholung betrachtet. Dafür wurde die Aerosolsammelpumpe in unterschiedlichen Stallbereichen positioniert.

### 3 Fazit

Die Methodik zur Erfassung von dermalen Expositionen erwies sich als aufwendig, aber gut durchführbar. Dermale Expositionen zwischen 1,5 mg UI („über die Kuh“) und 0,8 mg UI (Entmistungsroboter) wurden erhoben. Durch die Variationskoeffizienten zwischen 4,2 bis 12,8% wird von einer guten Reproduzierbarkeit der Methode ausgegangen. Mithilfe der Aerosolsammelpumpe konnten inhalative Expositionen zwischen  $4,4 \cdot 10^{-6}$  und  $0,2 \cdot 10^{-6}$  mg UI erfasst werden. Es zeigten sich deutlich höhere Variationskoeffizienten im Vergleich der dermalen Expositionen von 93 bis zu 180%. Da Faktoren wie u. a. Luftströmung im Stall Einfluss auf das Flugverhalten kleiner Tropfen ausüben können, wird eine hohe Schwankungsbreite in den Messwerten als nachvollziehbar angesehen.

Auch unter Einbeziehung von gemessenen, praxisnahen Expositionswerten kann die Verwendung des Ureaseinhibitors als sicher eingestuft werden.

### Literatur

- Ahrens, K.; Röver, M.; Peter, E.; Molnar, G.; Martin, S.; Wegener, J. K. (2023): Development of a method for measuring exposure of residents and bystanders following high crop application of plant protection products. *Journal of Cultivated Plants* 75(05–06), pp. 138–150, DOI: 10.5073/JFK.2023.05–06.01
- Bobrowski, A. B.; van Dooren, H. J.; Ognik, N.; Hagenkamp-Korth, F.; Hasler, M.; Hartung, E. (2021): Reduction of ammonia emissions by using a urease inhibitor in a mechanically ventilated dairy housing system. *Biosystems Engineering* 204, pp. 115–129
- Ehmke, A.; Melfsen, A.; Wegener, J. K.; Hartung, E. (2023): Influence of the urease inhibitor suspension (Atmowell®) on the fluorescent dye pyranine and its spray and drift behavior in wind tunnel measurements. *Journal of environmental science and health. Part. B, Pesticides, food contaminants, and agricultural wastes* 58(3), pp. 210–216, DOI: 10.1080/03601234.2023.2177463
- Haselbach, J. Jansen-Bouriatchenko, N. (2022): Toxicological Risk Assessment of the Urease Inhibitor Phenyl PhosphoroDiAmidate (PPDA) in Indoor Cattle Farming. 2. Aufl., Hg. ATC GmbH Angewandte Tox-Consult
- Molnar, G.; Ahrens, K.; Wegener, J. K.; Röver, M.; Peter, E.; Martin, S.; Dittmar, S. (2023): Development of a selective testing method to pesticide aerosols for characterization and comparison of agricultural tractor cabs classified according to EN 15695–1. *Journal of Cultivated Plants* 75(05–06), pp. 130–137, DOI: 10.5073/JFK.2023.05–06.01
- UBA (2022): Ammoniak-Emissionen. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/luftschadstoff-emissionen-in-deutschland/ammoniak-emissionen>, Zugriff am 17.08.2023

### Förderhinweis

Die Förderung des Vorhabens erfolgt (bzw. erfolgte) aus Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) aufgrund eines Beschlusses des deutschen Bundestages. Die Projektträger-schaft erfolgt (bzw. erfolgte) über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) im Rahmen des Programms zur Innovationsförderung.

## Digitale Zwillinge von frei belüfteten Milchviehställen

JULIAN HARTJE, STEFAN LINKE

### 1 Einleitung

Die Erfassung von Emissionsmassenströmen aus offenen Stallanlagen ist aufgrund der großen Seitenwandöffnungen schwierig (Janke et al. 2020). Ferner gibt es große Lücken im Wissen zu den Emissionen offener Stallsysteme. Dennoch werden sie zur Extrapolation von beispielsweise Emissionsfaktoren herangezogen (KTBL 2023). Simulationen können hier einen wichtigen Beitrag zur Erweiterung der Datenlage und Schließung dieser Lücken liefern (Ogink et al. 2013).

Das vorliegende Projekt nutzt Messdaten aus dem Projekt „EmiDaT“ (KTBL 2023), um digitale Zwillinge der untersuchten Stallanlagen zu validieren. Anschließend können diese genutzt werden, um Ereignisse außerhalb der Messwochen zu simulieren, um so die Datenlage zu erweitern.

### 2 Modellvalidierung

Die Erstellung der digitalen Zwillinge der Milchviehställe im Maßstab 1:1 erfolgt in der Software StarCCM+ in der Version 15.06.008. Zur Validierung werden Ereignisse aus den Messdaten des Projektes „EmiDaT“ ausgewählt. Jede Messwoche wird dabei zunächst nach einem Zeitraum untersucht, in dem es in den Größen Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Außentemperatur, Curtainmanagement und gemessener Ammoniakkonzentration im Stallinneren wenig Schwankungen gibt. Die Bewertung erfolgt dabei visuell anhand der zeitlichen Verläufe der Messgrößen. Um die Werte dann als Randbedingungen bzw. Zielwerte für die Simulation nutzen zu können, wird über den gefundenen Zeitraum arithmetisch gemittelt. Für jede Messwoche wird dabei ein Ereignis ausgewählt. Die Randbedingungen (Windgeschwindigkeit und -richtung sowie Lufttemperatur) werden in die Simulation eingepflegt. Das Ziel ist dann, durch ein iteratives Verfahren die Ammoniakkonzentration auf den Laufflächen und der Gülleoberfläche so anzupassen, dass der gemessene Wert aus dem Stallinneren erreicht wird. Der gemessene Luftmassenstrom dient zusätzlich als weitere Zielgröße. Entsprechen alle Werte den gemittelten Messwerten, gilt die Simulation als validiert. Eine Abweichung von  $\pm 10\%$  wurde als zulässig festgesetzt.

### 3 Erweiterung der Messdaten

Mit den validierten Modellen können nun Messereignisse, die keine Datengrundlage aus den Messwochen haben, simuliert werden. Um die Randbedingungen dieser Ereignisse zu bestimmen, wird auf Daten des Deutschen Wetterdienstes und sein Stationsnetz über Deutschland zurückgegriffen. Über einen Abgleich der gemessenen meteorologischen Daten am Stall kann eine Wetterstation in der Nähe identifiziert werden, die für die Stallwetterlage repräsentativ ist. Weitere nötige Informationen liefern die Ausbreitungs-klassen-Statistiken (Häufigkeit der Windrichtungen und -stärken an einer Messstation) sowie Jahresverläufe der Lufttemperatur. Abbildung 1 zeigt exemplarisch für einen Stall die Auswahl von Ereignissen au-

Berhalb der Messwochen und die Erweiterung der Messdaten. Der Kalender links gibt eine Übersicht über die verteilten Messwochen (blaue Markierung) im Jahr. Die mit den Strichen markierten Zellen zeigen die Tage an, an denen Wetterereignisse simuliert worden sind. Es wurde darauf geachtet, in jedem Monat von einem Tag ein Ereignis auszuwählen. Die Windrosen auf der rechten Seite zeigen oben die Ausbreitungs-klassen-Statistik und unten die Übersicht aus den Simulationen. Bei der ersteren lässt sich erkennen, dass die beiden Hauptwindrichtungen auf der West-Ost-Achse liegen. Die untere Windrose zeigt die simulierten Windstärken und -richtungen aus den Messwochen in blau und außerhalb der Messwochen in grau an (analog zum Kalender).

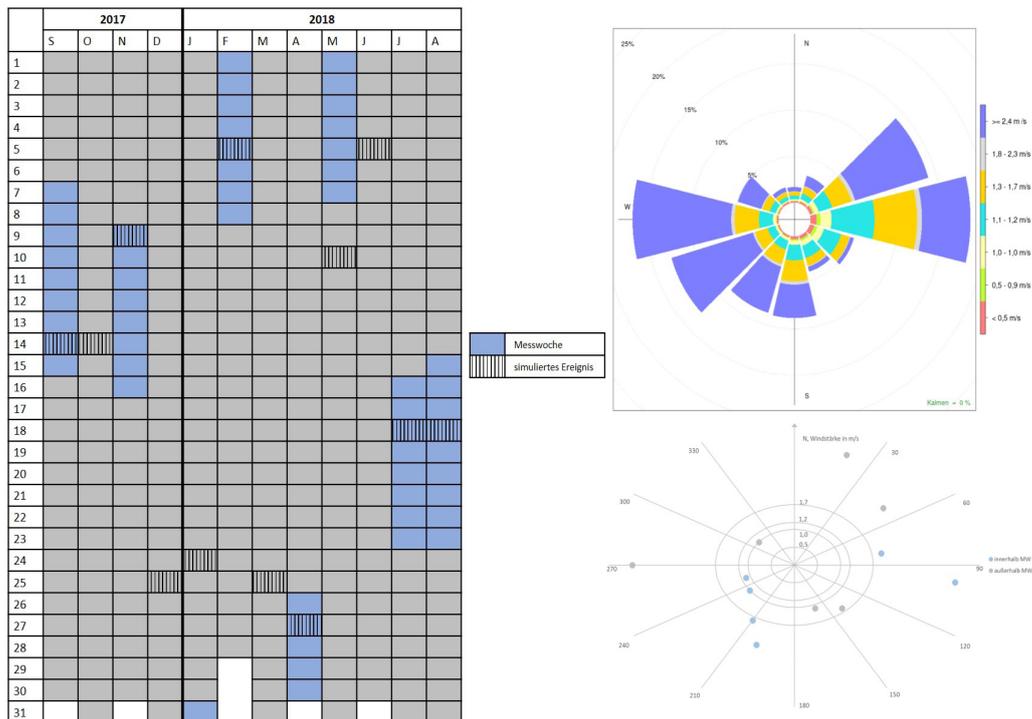


Abb. 1: Visualisierung zur Erweiterung der Messdaten; links: Kalender mit Übersicht zu simulierten Ereignissen innerhalb und außerhalb der Messwochen; rechts: Vergleich von Ausbreitungsklassen-Statistik (oben) sowie Windstärken und -richtungen der simulierten Ereignisse (© J. Hartje/S. Linke; Daten: DWD Ausbreitungsklassen-Statistik)

Es wird deutlich, dass eine starke Erweiterung der Messdaten möglich ist. Die hier getroffene Auswahl an zusätzlichen Ereignissen lässt sich dabei beliebig fortführen. So können beispielsweise noch mehr oder aber auch weniger, dafür aber spezifischer ausgewählte Ereignisse, simuliert werden.

## 4 Ergebnisse und Fazit

Mithilfe der validierten Modelle können unter anderem Emissionsmassenströme von Ereignissen außerhalb der Messwochen berechnet werden. So kann ein vollständigeres Bild zum Emissionsverhalten der Stallanlage gezeichnet werden. Des Weiteren können Managementstrategien für die Curtains erarbeitet werden. Hier kann ein Vergleich bei einer konkreten Wetterlage zwischen vollständig geöffneten und halb geschlossenen Curtains (oder anderen Konfigurationen) wertvolle Informationen liefern.

Die Kombination von Messung und Simulation bietet hier ein mächtiges Tool, die Datenlage für Offenstallsysteme zu erweitern. So können vertiefte Erkenntnisse beispielsweise zum Emissionsverhalten gewonnen werden.

## Literatur

Janke, D.; Yi, Q.; Thormann, L.; Hempel, S.; Amon, B.; Nosek, Š.; van Overbeke, P.; Amon, T. (2020): Direct Measurements of the Volume Flow Rate and Emissions in a Large Naturally Ventilated Building. *sensors* 20, doi.10.3390/s20216223

KTBL (2023): Ermittlung von Emissionsdaten für die Beurteilung der Umweltwirkungen der Nutztierhaltung (Emi-DaT). <https://www.ktbl.de/themen/emidat>, Zugriff am 16.08.2023

Ogink, N. W. M.; Mosquera, J.; Calvet, S.; Zhang, G. (2013): Methods for measuring gas emissions from naturally ventilated livestock buildings: Developments over the last decade and perspectives for improvement. *Biosystems Engineering* 116, pp. 297–308

## Zum Einfluss einer variierenden ruminalen N-Bilanz (RNB) auf Leistungskriterien und die N-Ausscheidung bei Milchkühen in der Spätlaktation

VERONIKA HUBER, ANTON OBERMAIER, MARKUS RODEHUTSCORD, THOMAS ETTLE

### 1 Einleitung

Überschüssiger Stickstoff wird von der Milchkuh überwiegend in Form von Harnstoff über den Urin ausgeschieden. Der Harnstoff kann leicht über das Enzym Urease in Ammoniak und Kohlenstoffdioxid umgewandelt werden. Ein wesentlicher Ansatz zur Minderung der Ammoniakemissionen ist die Ausgestaltung von Futter und Fütterung. Nach einer Literaturübersicht (Sajeev et al. 2018) führt die Reduzierung des Rohproteingehaltes der Ration für Rinder um 1 %-Punkt in der Trockenmasse zu einem Rückgang der Ammoniakfreisetzung um 17 %. Für die Umsetzung einer proteinreduzierten Fütterung wird für die Praxis eine Phasenfütterung empfohlen, also eine stufenweise Absenkung der Gehalte an nutzbarem Protein (nXP) und Rohprotein der Ration entsprechend der Empfehlungen zur Versorgung im Laktationsverlauf. Da die Bedarfsdeckung an nXP vor allem in der Frühlaktation wegen der beschränkten Futteraufnahme in Relation zur Milchleistung besonders schwierig ist, scheint eine Reduktion der XP-Gehalte insbesondere in der Spätlaktation möglich. Praxisbeobachtungen zufolge kann dagegen durch ein „Vorhalten an Protein“ in der späteren Laktation einer Verfettung der Kuh vorgebeugt werden. Aufgrund der unterschiedlichen Annahmen wurden in einem Fütterungsversuch mit Milchkühen die Auswirkungen einer variierenden Rohprotein- bzw. nXP-Versorgung in der zweiten Laktationshälfte auf Futteraufnahme, Milchleistungskriterien und die Körperkondition überprüft.

### 2 Material und Methoden

Am Staatsgut Achselschwang der BaySG wurden 48 Tiere der Rassen Fleckvieh und Braunvieh unter Berücksichtigung von Laktationsstand, Trächtigkeitstag, Milchleistung und -inhaltsstoffen sowie Futteraufnahme gleichmäßig auf die Gruppen RNB+ und RNB- aufgeteilt. Ziel war eine Differenzierung der ruminalen N-Bilanz (RNB) um 2,5 g N/kg TM. Der Versuch lief über 10 Monate, insgesamt konnten 108 Tiere ausgewertet werden. Die Fütterung erfolgte über eine Teilmischration, ausgelegt auf 25 kg Milch, höhere Leistungen wurden durch zusätzliche Kraftfuttermgaben an der Kraftfutterstation abgedeckt. Die Erhöhung der RNB in der Gruppe RNB+ erfolgte durch den Einsatz von Rapsextraktionsschrot.

Erfasst wurden die tägliche Futteraufnahme, Milchleistungskriterien, die Körperkondition und das Wiederkauverhalten. Mit dem Ziel einer indirekten Erfassung der N-Verdaulichkeit und zur Erstellung einer N-Bilanz wurden von ausgewählten Kühen beider Gruppen über eine Woche hinweg Kot- und Harnproben gesammelt.

### 3 Ergebnisse

Die Versorgung mit XP und nXP war in der Gruppe RNB+ entsprechend dem Versuchsplan signifikant höher als in der Gruppe RNB-. Auch aNDFom, XS+XZ und die P-Versorgung lagen in der Gruppe RNB+ signifikant höher. Die Futteraufnahme lag in der Gruppe RNB+ mit 20,6 kg TM/d tendenziell ( $p = 0,012$ ) höher als in der Gruppe RNB- mit 19,4 kg TM/d.

Insgesamt zeigte sich für die zweite Laktationshälfte ein hohes Leistungsniveau mit 27 bzw. 29,2 kg energiekorrigierte Milch (ECM) je Tag in den Gruppen RNB- und RNB+. Der Unterschied zwischen den Gruppen konnte nicht statistisch abgesichert werden. Aufgrund des möglichen Effektes auf die Milchleistung in Kombination mit der tendenziell verminderten Futteraufnahme müssen Empfehlungen zu einer Reduktion des XP-Gehaltes der Ration in der Spätlaktation auf bis zu 13,0 bis 13,5 % der TM (Herdenleistung 8.000 bis 10.000 kg ECM) infrage gestellt werden. Der Milchlithstoffgehalt unterschied sich erwartungsgemäß stark zwischen den Gruppen, bewegte sich aber in beiden Fütterungsgruppen im Bereich der Empfehlungen. Die Auswirkungen auf die rechnerischen N-Ausscheidungen mit Kot und Harn (N-Saldo) sind in Tabelle 1 dargestellt (N-Aufnahme über das Futter abzüglich N-Abgabe über die Milch).

Tab. 1: Auswirkungen der RNB der Ration auf N-Ausscheidung und die N-Effizienz

	Einheit	Versuchsgruppe		SE	p-Wert
		RNB-	RNB+		
N-Aufnahme	g/d	413	504	10	< 0,001
N in Milch	g/d	150	165	5	0,024
N-Saldo	g/d	264	340	7	< 0,001
N-Effizienz	%	38	34	0,7	< 0,001

Im Versuchszeitraum wurden die täglichen N-Ausscheidungen demnach in Gruppe RNB- gegenüber Gruppe RNB+ um 22 % verringert. Die N-Effizienz (Anteil Futter-N in Milch) wurde von 34 % auf 38 % gesteigert. Ähnliche Ergebnisse erbrachten auch die Messungen in der N-Bilanzstudie (Abb. 1). Die N-Ausscheidung über den Harn war in der Gruppe RNB+ signifikant erhöht.

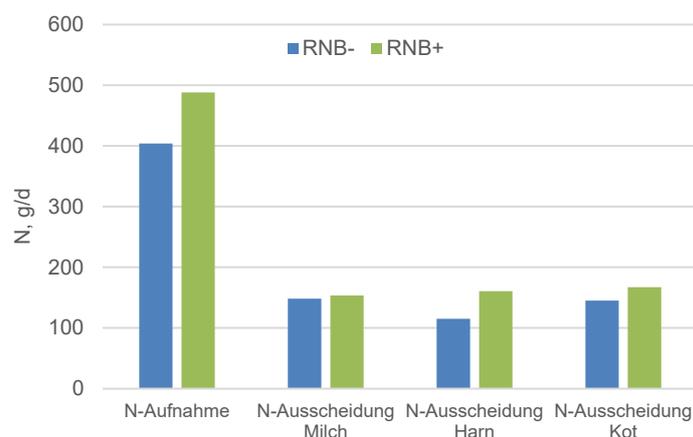


Abb. 1: N-Aufnahme und N-Ausscheidung in der Bilanzstudie (© V. Huber)

Auf die erfassten Parameter zur Körperkondition konnten keine signifikanten Auswirkungen der RNB festgestellt werden, allerdings lag die Gruppe RNB+ mit dem Gewicht, der Rückenfettdicke und dem Body Condition Score tendenziell höher als die Gruppe RNB-. Die Theorie, dass eine erhöhte Proteinversorgung dazu beiträgt eine Verfettung der Kühe in der Spätlaktation zu vermeiden, kann damit nicht bestätigt werden.

## 4 Fazit

Es zeigt sich, dass es aktuell immer noch schwerfällt, die Fütterung in den unterschiedlichen Laktationsstadien in Bezug auf die N-Ausscheidungen und die Proteinversorgung der Kuh optimal auszubalancieren. Der Praxismeinung, ein „Vorhalten an Protein“ würde dazu beitragen, dass die Kühe in der Spätlaktation weniger verfetten, muss klar widersprochen werden. Eine Absenkung des Rohproteingehaltes in der zweiten Laktationshälfte ist zu empfehlen, allerdings sollte die RNB nicht unter -20 g/d liegen.

## Literatur

Sajeev, E. P. M.; 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* 110, pp. 161–175, doi: 10.1007/s10705-017-9893-3

## Immissionsmessungen an frei belüfteten Schweineställen – Vorstellung der Zwischenergebnisse

FABIAN KRISCHKE

### 1 Einleitung

Durch den gesellschaftspolitisch gewollten Umbau der Tierhaltung hin zu mehr Tierwohl müssen zukünftig fachgerechte Anforderungen an die immissionsschutzrechtlichen Vorgaben für tiergerechte Schweinehaltungen definiert werden. Die Umstellung von zwangsbelüfteten Ställen mit guten Ableitbedingungen über Kamine mit teilweise vorgeschalteten Abluftreinigungsmaßnahmen auf frei belüftete Ställe mit bodennahen Emissionsquellen kann zu einem höheren Belastungspotenzial in der Nachbarschaft führen, insbesondere bei Gerüchen. Bei den Ammoniakemissionen kann nicht ausgeschlossen werden, dass die Zunahme des Platzangebotes zu einer Erhöhung der Emissionen führt. Gerade für Ammoniak sind durch die NEC-Richtlinie (EU) 2016/2284 vom 14.12.2016 hohe Minderungsziele von der EU für Deutschland vorgegeben. Es ist aber auch denkbar, dass durch niedrigere Durchschnittstemperaturen in frei belüfteten Ställen und die Ausbildung von Funktionsbereichen die Immissionsbelastungen im Vergleich zu zwangsbelüfteten Ställen bei Ammoniak sinken.

Ziel des Projektes „Immissionsschutzanforderung bei der Errichtung von Tierwohlställen in Bayern mit Schwerpunkt Schweinehaltung“ ist es, Wege zur Genehmigungsfähigkeit von Tierwohlställen im Bereich der Schweinehaltung aufzuzeigen. Dazu werden Erfahrungen aus bestehenden Anlagen genutzt und Praxisuntersuchungen durchgeführt. Im Projekt werden dazu Messungen von Geruchsimmissionen durch Fahnenbegehungen durchgeführt und die Ammoniakkonzentrationen in der Umgebung von ausgewählten tierwohlorientierten Ställen erfasst, um die ggf. nötigen Anforderungen an den Immissionsschutz besser einschätzen zu können. So können schädliche Umwelteinwirkungen vermieden und ein möglicher Zielkonflikt zwischen Umweltschutz und Tierwohl minimiert werden.

### 2 Material und Methoden

Die direkte Messung von Geruchs- und Ammoniakemissionen in frei belüfteten Tierhaltungsanlagen ist aufgrund der diffusen Ableitungsverhältnisse schwierig. Im Rahmen des vom Bayerischen Landesamt für Umwelt durchgeführten Projektes wurden deshalb Immissionsmessungen an verschiedenen Schweinehaltungen mit Außenklima durchgeführt.

Zur Ermittlung der Geruchsbelastung wurden Fahnenbegehungen nach DIN EN 16841-2 (DIN 2017) an vier tierwohlorientierten Schweinehaltungen durchgeführt. Je Anlage wurden vier Begehungstage mit jeweils drei Messzeitintervallen angesetzt, um eine möglichst vollständige Felderhebung durchzuführen und jahreszeitliche Schwankungen zu erfassen. Neben der Untersuchung der Fahnausbreitung wurden weitere Parameter zur Untersuchung der Geruchsbelastung aufgenommen. So wurden Polaritätsprofile nach VDI 3940-4 (VDI 2010a) sowie Intensität und Hedonik nach VDI 3940-3 (VDI 2010b) bestimmt.

Zur Beurteilung der Stickstoffdynamik in der Umgebung der Anlagen wurden an zwei Anlagen Passivsammlermessungen nach VDI 3869-4 (VDI 2012a) vorgenommen. Die Messung der Ammoniakkonzentration erfolgte mit tubusförmigen Passivsammlern vom Typ „FERM“ mit Turbulenzbarriere in einer Messhöhe

von 1,5 m. Zusätzlich befand sich ein Passivsammler je Standort in 3,5 m Höhe. Die Hintergrundbelastung wurde in 2,5 bis 3,5 m Höhe in Entfernungen von über 480 m zur nächstgelegenen Tierhaltungsanlage bestimmt.

### 3 Zwischenergebnisse

Die bisher vorliegenden Ergebnisse der Fahnenbegehungen über je vier Begehungstage sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Die Ergebnisse zeigen Fahnenreichweiten zwischen 132 und über 600 m. Im Mittel beträgt die Fahnenreichweite etwa 322 m. Die hedonische Bewertung des Geruchs an den Fahnenbegehungen ergibt insgesamt die Einstufung „eher unangenehm“. Die Geruchsqualität durch die Ermittlung der Polaritätenprofile ergibt eine Zuordnung zum Konzept „Gestank“.

Tab. 1: Ergebnisse der Fahnenreichweite über vier Begehungstage

Tierart	Einheit	Anlage 1 Mastschweine	Anlage 2 Mastschweine	Anlage 3 Mastschweine	Anlage 4 Sauen und Ferkel
Entmistung		Festmist mit Schieber	Festmist mit Schieber	Flüssigmist	Festmist
Mistlagerung		abgedeckte Güllegrube	Festmist-container	abgedeckte Güllegrube	Festmistmieten
Großvieheinheiten	GV	135–223	126–163	107–194	45
Fahnenreichweite	m	376–600+	132–291	320–475	186–422
Mittlere Windgeschwindigkeit Begehungstage	m/s	2,8–6,9	1,8–2,7	2,5–5,9	1,6–4,1

Die Ergebnisse der Ammoniakuntersuchungen an den Anlagen 1 und 4 sind in Abbildung 1 dargestellt. Die Messergebnisse an den anlagennahen Messpunkten sind im Wesentlichen von der Stallbelegung und der Temperatur beeinflusst. Die anlagenfernen Messpunkte sind dagegen stark von den meteorologischen Bedingungen (Transmission) geprägt. Erste orientierende Ausbreitungsrechnungen an den Anlagen 1 und 4 zeigen, dass die Prognoseergebnisse im Messbereich der Ammoniakkonzentrationen bei der Verwendung von Standardemissionsfaktoren liegen. Genauere Untersuchungen sind jedoch noch erforderlich.

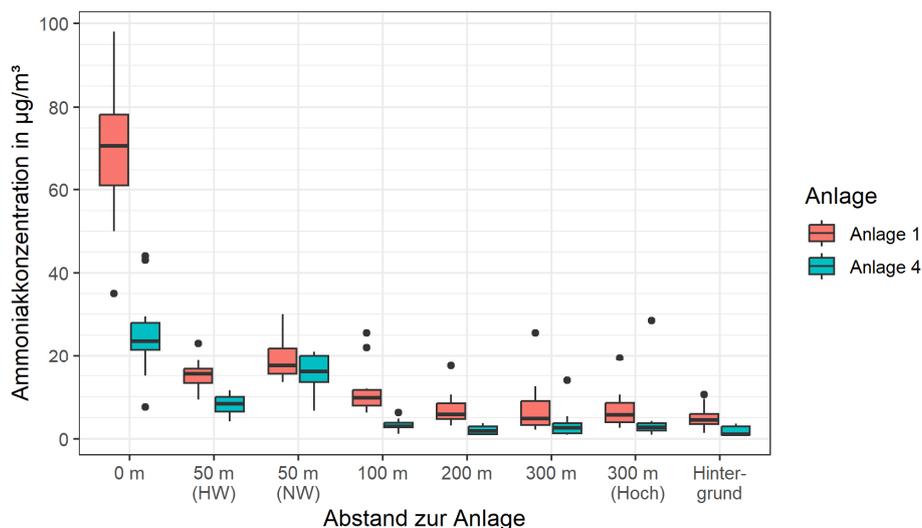


Abb. 1: Ergebnisse der Passivsammleruntersuchungen im Jahr 2022 an Anlage 1 und Anlage 4 (HW = Hauptwindrichtung, NW = Nebenwindrichtung) (© Bayerisches Landesamt für Umwelt)

### 3 Ausblick

Die durchgeführten Untersuchungen geben Hinweise für die immissionsseitige Beurteilung von frei gelüfteten Schweineställen. Mithilfe von Immissionsprognosen sollen die Ergebnisse der Immissionsmessungen vergleichend bewertet werden. Hierzu soll eine Gegenüberstellung der Immissionsprognosen mit der maximal ermittelten Geruchsfahne zur Abschätzung eines möglichen realistischen Abstandes erfolgen. Es soll ein Vergleich mit den ermittelten Ammoniakimmissionskonzentrationen bzw. eine Rückrechnung auf einen möglichen Emissionsfaktor erfolgen. Mögliche Diskrepanzen zwischen Mess- und Prognosewerten sind zu diskutieren und die Ergebnisse mit dem Verfahren nach VDI 3894 Blatt 2 (VDI 2012b) zur Abstandsermittlung für Gerüche bei Tierhaltungsanlagen zu vergleichen.

### Literatur

- DIN (2017): DIN EN 16841-2:2017-03. Außenluft – Bestimmung von Geruchsstoffimmissionen durch Begehungen – Teil 2: Fahnenmessung
- VDI (2012a): VDI 3869 Blatt 4:2012-03. Messen von Ammoniak in der Außenluft – Probenahme mit Passivsammlern – Fotometrische oder ionenchromatografische Analyse
- VDI (2012b): VDI 3894 Blatt 2:2012-11. Emissionen und Immissionen aus Tierhaltungsanlagen. Methode zur Abstandbestimmung Geruch
- VDI (2010a): VDI 3940 Blatt 4:2010-06. Bestimmung der hedonischen Geruchswirkung – Polaritätenprofile
- VDI (2010b): VDI 3940 Blatt 3:2010-01. Bestimmung von Geruchsstoffimmissionen durch Begehungen – Ermittlung von Geruchsintensität und hedonischer Geruchswirkung im Feld

### Förderhinweis

Das Projekt wird vom Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz finanziert.

## Erhebung von Geruchsemissionen in der Praxis zur Ableitung von Emissionsfaktoren für Ausbreitungsmodelle

MICHAEL KROPSCH, DIETMAR ÖTTL, EDUARD ZENTNER

### 1 Einleitung

Im Rahmen landwirtschaftlicher Behördenverfahren ist die Verwendung von Ausbreitungsmodellen zur Abschätzung von Geruchsmissionen mittlerweile Stand der Technik.

Um Ausbreitungsrechnungen so realitätsnah wie möglich durchführen zu können, ist – neben der Mitbeziehung der Bebauung, der Topografie, der vorherrschenden Windsituation und der Berücksichtigung des Bewuchses – von zentraler Relevanz, welche Höhe die Emissionsfaktoren für einzelne Nutztierkategorien aufweisen. Eine Verwendung zu niedriger Faktoren kann zu einer Unterschätzung der Geruchsmissionen führen und zu einer nicht identifizierten Belastung, mit möglicherweise negativen Konsequenzen. Es ist jedoch auch nicht zielführend, einen unangemessen hohen „Sicherheitspolster“ auf Emissionsfaktoren „draufzuschlagen“ um jedmögliche immissionsseitige Beeinträchtigung auszuschließen. Ziel ist die Verwendung von Geruchsemissionsfaktoren, die die realen Bedingungen bestmöglich widerspiegeln.

Zur Ableitung dem Stand der Technik entsprechender Geruchsemissionsfaktoren wurden Praxisbetriebe mehrmals untersucht, mit dem Ziel, Minderungstechniken und aktuelle Entwicklungen im Stallbau in der Ausbreitungsrechnung mit zu berücksichtigen.

### 2 Material und Methoden

Jeder der 9 Projektbetriebe (3 Legehennen- und 3 Mastgeflügelbetriebe, 2 Schweinebetriebe mit Beprobung von Zuchtsauenhaltung und Ferkelaufzucht, 1 Schweinebetrieb mit Beprobung von Zuchtsauenhaltung und Abferkelung) wurde mindestens 6-mal beprobt. Die Abluftvolumenströme wurden durch Messkamine bzw. mittels testo 400 (Firma Testo, Titisee-Neustadt) ermittelt, die Sammlung der Geruchsproben erfolgte mit 10-Liter-Nalophan-Säcken und einem CSD30-Probenahmegerät (Firma Olfasense, Kiel). Die Analyse der Geruchsproben erfolgte mittels Olfaktometer TO8 (Firma Olfasense, Kiel), gemäß ÖNORM EN 13725 (2022), VDI 3884 Blatt 1 (2015) und VDI 3880 (2011).



Abb. 1: Geflügelbetrieb: Messkamin mit Vorrichtung zur Geruchsprobenziehung und Messventilator (links), Messkamin und Probensammler CSD30 (Mitte) und gefüllte Nalophan-Säcke in Isolierbox (rechts) (© M. Kropsch)



Abb. 2: Schweinebetrieb: Zugang zentrale Ablufteinheit (links), skizzierte Rastermessung in Abluftschacht (Mitte) und Display testo 400 (rechts) (Volumenstrom-Netzmessung nach DIN/ÖNORM EN 12599) (© M. Kropsch)

### 3 Ergebnisse

Die Geruchsstoffemissionsfaktoren, abgeleitet aus dem Abluftvolumenstrom, der Tieranzahl und des fixen GVE-Wertes nach VDI 3894 Blatt 1 (2011) sowie der resultierenden Geruchsstoffkonzentration (Mittelwert aus drei gezogenen Proben) zeigen folgende Ergebnisse:

- Legehennen: 10 GE s<sup>-1</sup> GVE<sup>-1</sup>
- Mastgeflügel: 41 GE s<sup>-1</sup> GVE<sup>-1</sup>
- Sauen ohne Ferkel: 23 GE s<sup>-1</sup> GVE<sup>-1</sup>
- Sauen mit Ferkel: 33 GE s<sup>-1</sup> GVE<sup>-1</sup>
- Ferkelaufzucht: 55 GE s<sup>-1</sup> GVE<sup>-1</sup>

### 4 Ausblick

Das Projekt wurde im Auftrag der Abteilung 15 des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung durchgeführt. Erstmals liegen nun Geruchsstoffemissionsfaktoren für Geflügel, für den Warte- und Deckbereich bei Schweinen (Sauen ohne Ferkel), für den Abferkel- und Säugebereich (Sauen mit Ferkel) sowie für die Ferkelaufzucht in Österreich vor.

Infolge der Novellierung des Steiermärkischen Raumordnungsgesetzes 2022 wurde erforderlich, die „Steiermärkische Emissionsrichtlinie“ (Amt der Steiermärkischen Landesregierung 2021), in der Geruchsstoffemissionsfaktoren für landwirtschaftliche Nutztiere gelistet sind, zu überarbeiten. Die Ergebnisse der Praxisuntersuchung fließen in die Überarbeitung und Aktualisierung der „Steiermärkischen Emissionsrichtlinie“ ein; sie spiegeln den Stand der Technik im Stallbau und den Einsatz von Maßnahmen zur Emissionsminderung wider (beispielsweise Proteinreduzierte Fütterung, Zuluftkühlung usw.) und ermöglichen deren Berücksichtigung in Geruchsimmissionsberechnungen.

## Literatur

- Amt der Steiermärkischen Landesregierung (2021): Geruchsemissionen aus der Tierhaltung. Bericht Nr. Lu-01-2021, Graz
- ÖNORM EN 13725 (2022): Emissionen aus stationären Quellen – Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration durch dynamische Olfaktometrie und Ermittlung der Geruchsstoffemissionsrate, Wien
- ÖNORM EN 12599 (2012): Lüftung von Gebäuden – Prüf- und Messverfahren für die Übergabe raumluftechnischer Anlagen, Wien
- VDI 3884 Blatt 1 (2015) Olfaktometrie – Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration mit dynamischer Olfaktometrie – Ausführungshinweise zur Norm. Berlin, Beuth Verlag
- VDI 3880 (2011): Olfaktometrie – Statische Probenahme. Berlin, Beuth Verlag
- VDI 3894 Blatt 1 (2011): Emissionen und Immissionen aus Tierhaltungsanlagen – Haltungsverfahren und Emissionen – Schweine, Rinder, Geflügel, Pferde. Berlin, Beuth Verlag

## „Drehscheibe Ammoniak“: Vorgehen und erste Erfahrungen bei der Umsetzung von emissionsmindernden Stallssystemen

THOMAS KUPPER, KILIAN APPERT, ERICH VON AH, MARKUS BUCHELI, MICHEL FISCHLER, MICHAEL SCHWARZENBERGER, MARKUS SPUHLER, MICHAEL STÄUBLE, BARBARA STEINER, ANNELIES UEBERSAX, STÉPHANIE VUILLE, MICHAEL ZÄHNER

### 1 Einleitung

Die Landwirtschaft ist verpflichtet, die Emissionen von Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) aufgrund der vielfältigen negativen Auswirkungen des Eintrags von  $\text{NH}_3$  in die Umwelt zu senken. Die  $\text{NH}_3$ -Emissionen in der Schweiz stammen zu 93 % aus der Tierproduktion. Die Emissionen aus Ställen machen davon einen Anteil von 36 % aus (Kupper et al. 2022). Aktuell nehmen die  $\text{NH}_3$ -Verluste auf der Stufe Stall zu, wobei der Ersatz von Anbindeställen durch Laufställe bei Rindvieh und Systeme für Schweine mit Auflauf die wichtigsten Ursachen für diese Entwicklung sind (Kupper et al. 2015). Die Umsetzung emissionsmindernder Systeme in Rindviehställen, die rund zwei Drittel der Stallemissionen ausmachen, ist von großer Bedeutung. Momentan sind die Optionen zur Emissionsminderung bei Rindviehställen begrenzt (BAFU, BLW 2021). Eine Umsetzung von emissionsmindernden Systemen hat hohe Priorität, da ein Stall während rund 30 Jahren in Betrieb ist und nachträgliche Verbesserungen hinsichtlich Emissionen schwer realisierbar sind. Das Ziel der Plattform „Drehscheibe Ammoniak“ besteht daher darin, die Umsetzung von emissionsmindernden Stallssystemen bei Neu- und Umbauen zu fördern. Der Schwerpunkt liegt bei Rindvieh und Schweinen.

### 2 Vorgehen und Projektinhalt

Um baulichen Maßnahmen in der Praxis zum Durchbruch zu verhelfen, sind die folgenden Aktivitäten im Gange:

- Wissenschaftlich abgestützte Bewertungen und Empfehlungen basierend auf dem vorhandenen Wissen werden erarbeitet. Diese Aufgabe wird von wissenschaftlichen Instituten übernommen. Der Austausch mit internationalen Partnern sowie der Einbezug von Erfahrungen aus der Praxis sind ein wichtiger Teil der Arbeiten.
- Schaffung von regional über die Schweiz verteilten Baucoachingstellen für Ammoniak. Diese beraten und begleiten Bauherrschaften, Fachstellen, Behörden, Branchenorganisationen und Stallbauern von der Planung bis zur Umsetzung von Bauvorhaben. Das Ziel ist die Erstellung von tierfreundlichen und emissionsmindernden Musterställen, welche landwirtschaftliche Betriebe und Bauern motivieren, solche Ställe umzusetzen.
- Dadurch und mittels Einbeziehung aller relevanten Gruppen von Akteuren werden für die ganze Schweiz einheitliche und von der öffentlichen Hand sowie der Forschung getragene Empfehlungen und Instrumente zur Umsetzung von Maßnahmen bezüglich Reduktion von Ammoniakverlusten erarbeitet.

### 3 Fazit

Die Arbeiten haben nach rund eineinhalb Jahren Projektdauer die folgenden Erkenntnisse gebracht:

- Die Datenlage zur Emissionsreduktion von emissionsmindernden Systemen, basierend auf wissenschaftlich zuverlässig abgestützten Versuchen (d. h. Case-Control-Studien), ist schmal. Derzeit gibt es für Rindvieh nur wenige Systeme, wie z. B. Ställe mit geneigtem Boden und mittlerer Harnabflussrisse (Zähner et al. 2017), die breit realisierbar und uneingeschränkt zur Umsetzung empfohlen werden können. Um die Verfügbarkeit zuverlässiger emissionsmindernder Systeme zu verbessern, werden Optionen gesucht, um Messkampagnen anschieben und Emissionsdaten von solchen Systemen generieren zu können.
- Uneingeschränkte Funktion der Systeme im Betrieb und Berücksichtigung der Anforderungen bezüglich Tierwohl sind weitere Schlüsselfaktoren, die erfüllt sein müssen.
- Erfahrungen aus den Niederlanden zeigen, dass das Potenzial emissionsmindernder Systeme oft nicht ausgeschöpft wird (Schep et al. 2022). Maßnahmen zur Sicherstellung eines korrekten Betriebs und des Unterhalts dieser Systeme sind notwendig.
- Veranstaltungen für die betroffenen Akteure, unter anderem auf einem umgesetzten Musterstall, haben emissionsmindernde Systeme zunehmend in den Fokus von Stallbauunternehmen gerückt.
- Der Einbezug aller Stufen und Akteure, die bei Bauvorhaben involviert sind, ist für eine erfolgreiche Verbreitung emissionsmindernder Systeme entscheidend. Dies steht im Zusammenhang mit den folgenden Aktivitäten: 1. Erarbeitung wissenschaftlich abgestützter Grundlagen zur emissionsmindernden Wirkung der Systeme, 2. die Sicherstellung des Transfers des Wissens, das bei der Erarbeitung der Grundlagen generiert wurde, zu allen Akteuren, 3. die Möglichkeit der Anrechnung der Emissionsminderung eines Systems im Rahmen von Auflagen bei Bauvorhaben und Förderprogrammen. Die Koordination der Aktivitäten über diese Stufen bleibt eine Herausforderung.

### Literatur

- BAFU, BLW (2021): Nährstoffe und Verwendung von Düngern in der Landwirtschaft. Ein Modul der Vollzugshilfe Umweltschutz in der Landwirtschaft 2012. Teilrevidierte Ausgabe 2021, Umwelt-Vollzug Nr. 1225, Bern, Bundesamt für Umwelt
- Kupper, T.; Häni, C.; Bretscher, D.; Zaucker, F. (2022): Ammoniakemissionen der schweizerischen Landwirtschaft 1990 bis 2020, Berner Fachhochschule, Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften, Zollikofen, <https://agrammon.ch/de/downloads/>, Zugriff am 16.08.2023
- Kupper, T.; Bonjour, C.; Menzi, H. (2015): Evolution of farm and manure management and their influence on ammonia emissions from agriculture in Switzerland between 1990 and 2010. *Atmos. Environ.* 103(0), pp. 215–221
- Schep, C.A.; van Dooren, H.J.C.; Mosquera, J.; van Well, E.A.P.; Keuskamp, J.A.; Ogink, N.W.M. (2022): Monitoring van methaan-, ammoniak- en lachgasemissies uit melkveestallen. Rapport No. 1388. Wageningen, Wageningen Livestock Research
- Zähner, M.; Poteko, J.; Zeyer, K.; Schrade, S. (2017): Laufflächengestaltung: Emissionsminderung und verfahrenstechnische Aspekte – erste Ergebnisse aus dem Emissionsversuchsstall Tänikon. Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein (Österreich), S. 13–18

## Danksagung und Förderhinweis

Die „Drehscheibe Ammoniak“ wird von den folgenden Institutionen finanziell unterstützt: Bundesamt für Landwirtschaft; Amt für Umwelt der Kantone AG, AI, BE, BL/BS, FR, GL, GR, LU, OW, SH, SG, SO, TG, TI, ZH; Amt für Landwirtschaft der Kantone AG, BE, FR, GL, GR, LU, NW, OW, SH, SO, SZ, UR, TG, VS, ZG, ZH. Das Bundesamt für Umwelt unterstützt den Aufbau und die Dokumentation von Fachwissen zu emissionsarmem Bauen in der Landwirtschaft.

## Ammoniakemissionen aus Masthühnerställen mit erhöhten Ebenen

STEFAN LINKE, MARCUS CLAUSS, JOSEFINE EISERMANN, JULIA MALCHOW, LARS SCHRADER

### 1 Einleitung

In konventionellen Masthühnerställen kann die Verwendung von Strukturelementen, wie z. B. erhöhte Ebenen, das Tierwohl steigern (Riber et al. 2018). Solche erhöhten Ebenen bieten Masthühnern die Möglichkeit zum Aufbaumen und damit zum artgemäßen Ruhen und Schlafen (Forslind et al. 2021, Malchow and Schrader 2021). Bei geschlossenen erhöhten Ebenen vergrößert sich potenziell die emittierende Fläche im Stall, was zu höheren Emissionen führen könnte.

Um das Emissionsverhalten von zwangsbelüfteten Stallanlagen erfassen zu können, ist die Kenntnis von zwei Faktoren notwendig: dem Luftvolumenstrom und der Schadgaskonzentration in der Abluft. Sie hängen jedoch von verschiedenen Einflussgrößen ab. So hat die Lüftung die Aufgabe, unabhängig von der Jahreszeit, die Temperatur im Stall auf dem Soll zu halten. Die Konzentration verschiedener Schadstoffe in der Abluft (z. B. Ammoniak) kann durch die verwendete Einstreu, das Futter und die Besatzdichte beeinflusst werden. Auch die Größe der emittierenden Fläche ist von entscheidender Bedeutung. Daher wurde in dem vorliegenden Projekt der Einfluss verschiedener erhöhter Ebenen auf das Emissionsverhalten untersucht.

### 2 Material und Methode

Schnell wachsende Masthühner der Linie Ross 308 wurden in zwei kommerzielle Ställe (L x B: 90,6 x 20,6 m) am gleichen Standort eingestallt. Die Tierzahl je Durchgang und Stall betrug im Mittel 35.084 Tiere, die im Durchschnitt 40 bis 41 Tage gemästet wurden. Am Ende der Mast wurde eine Besatzdichte von 35 kg m<sup>-2</sup> nicht überschritten. Die Fütterung erfolgte ad libitum und der Futterphasenwechsel fand jeweils an den Lebenstagen 9, 24 und 34 statt. In beiden Ställen wurden erhöhte Ebenen in perforierter Ausführung mit Kunststoff-Gitterrosten (L x B: 75 x 1 m; ~ 10 % der Stallgrundfläche) eingebaut. In einem Stall wurden die Gitterroste jedoch zu Mastbeginn mit zwei Lagen je 2,1 mm starker handelsüblicher Pappe abgedeckt.

Für die Messungen wurde ein „Sensor Array Measuring Ball“ (SAMBa) eingesetzt. In diesem ist unter anderem der Polytron®-C300-Ammoniaksensor der Firma Dräger (Lübeck) verbaut. Dieser hat laut Datenblatt einen Messbereich von 0 bis 100 ppm bei einer Genauigkeit von 1,5 ppm oder ±10 % vom Messwert bei einer Auflösung von 0,5 ppm. In Vorversuchen zeigten sich bei einer Vergleichsmessung zu einem Multigas-FTIR-Analysator im Konzentrationsbereich von 4 bis 18 ppm eine mittlere Abweichung von +8 %. Es wurden je drei SAMBa flächengleich in einer Höhe von 4 m in jedem Abluftschacht der beiden Ställe platziert. Alle SAMBa waren untereinander über ein Feldbussystem vernetzt. So konnten die Ammoniakkonzentrationen zeitgleich und kontinuierlich ca. alle 10 Sekunden erfasst werden.

Der Volumenstrom wurde direkt über den stallinternen Klimacomputer erfasst und alle zwei Minuten in einer Datei abgelegt. Die Tagesmitteltemperatur wurde von der Wetterstation in Lingen (Ems) abgefragt, um die saisonalen Abhängigkeiten über die Temperatur anzuzeigen.

### 3 Ergebnisse

Im ersten von drei Durchgängen betrug die gemittelte mittlere Tagestemperatur 5,8 °C und repräsentiert den Winter, im zweiten 11,7 °C (Übergang) und im dritten 19,4 °C (Sommer).

Bei der Betrachtung der Tagesmittelwerte der Ammoniakkonzentration wurde in allen Durchgängen ein ähnlicher Verlauf auf unterschiedlichen Konzentrationsniveaus beobachtet. Nach dem ersten Drittel der Mast hob sich die Ammoniakkonzentration vom Grundrauschen ab und stieg zur Mitte der Mast auf ein Maximum steil an. Im letzten Drittel der Mast sanken die Konzentrationen wieder mehr oder weniger deutlich unter das Maximum ab. Der maximale Wert für ein Tagesmittel wurde im Sommer mit 18 ppm Ammoniak festgestellt. Ein exemplarisch ausgewählter Tagesgang zeigte deutliche Einflussnahmen der durch die Dunkelphasen hervorgerufenen geringen Aktivität der Tiere und den schwankenden Verlauf des Volumenstroms. Es trat dabei eine Standardabweichung von 39 % vom Tagesmittelwert auf. Weiterhin war in der Regel die Ammoniakkonzentration im Stall mit geschlossenen erhöhten Ebenen höher als im Stall mit perforierten erhöhten Ebenen.

Die Volumenströme stiegen konträr zur fallenden Solltemperatur im Stall linear an. Das Niveau der Lüftungsrate nahm mit steigender Außentemperatur zu. So lag das Maximum der Tagesmittelwerte des Volumenstroms im Winter bei rund 48.000 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>, in der Übergangszeit bei 127.000 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> und im Sommer bei 164.000 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>. Die Volumenströme des Stalls mit abgedeckten Ebenen unterschieden sich nur wenig von dem mit perforierten erhöhten Ebenen.

Die berechneten Emissionsmassenströme von Ammoniak in Abbildung 1 folgten dem Verlauf der Konzentration, werden aber zum Ende der Mast durch den Anstieg des Volumenstroms noch verstärkt. Bei Pescatore et al. (2005) und Wheeler et al. (2006) werden Ammoniakmassenströme um das Drei- bis Vierfache der im Projekt berechneten Werte für Masthähnchenställe genannt.

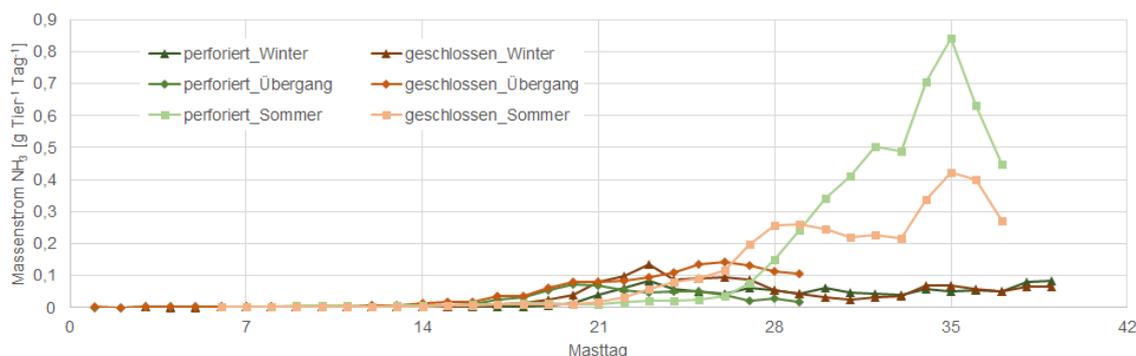


Abb. 1: Massenstrom von Ammoniak bei verschiedenen klimatischen Bedingungen unter Verwendung von geschlossenen und perforierten erhöhten Ebenen (© S. Linke)

### 4 Fazit

Die Außentemperatur hatte einen starken Einfluss auf den Volumenstrom. Der Verlauf der Ammoniakkonzentration im Tagesgang unterlag Einflussfaktoren wie der Aktivität der Tiere oder Veränderungen der Luftwechselrate. Im Trend emittierte der Stall mit geschlossenen erhöhten Ebenen mehr Ammoniak als der mit perforierten. Die Ammoniakemissionen aus den untersuchten Ställen lagen deutlich unter den in der Literatur genannten Werte.

## Literatur

- Forslind, S.; Blokhuis, H. J.; Riber, A. B. (2021): Disturbance of resting behaviour of broilers under different environmental conditions. *Applied Animal Behaviour Science* 242, 105425, <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2021.105425>
- Malchow, J.; Schrader, L. (2021): Effects of an Elevated Platform on Welfare Aspects in Male Conventional Broilers and Dual-Purpose Chickens. *Frontiers in Veterinary Science* 8, 660602, <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.660602>
- Pescatore, A. J.; Casey, K. D.; Gates, R. S. (2005): Ammonia Emissions from Broiler Houses. *Journal of Applied Poultry Research* 14(3), pp. 635–637, <https://doi.org/10.1093/japr/14.3.635>
- Riber, A. B.; van de Weerd, H. A.; de Jong, I. C.; Steinfeldt, S. (2018): Review of environmental enrichment for broiler chickens. *Poultry Science* 97, 378–396, <http://dx.doi.org/10.3382/ps/pex344>
- Wheeler, E.; Casey, K.; Gates, R.; Xin, H.; Zajackowski, J.; Topper, P. A.; Liang, Y.; Pescatore, A. (2006): Ammonia Emissions from Twelve U.S. Broiler Chicken Houses. *Transactions of the ASABE (American Society of Agricultural and Biological Engineers)* 49(3), pp. 1495–1512, DOI:10.13031/2013.22042

## Bestimmung von Emissionsraten bei praxisüblicher Proteinversorgung von Mastschweinen

JULIAN MARKUS, LARS BROER, RALF KOSCH, ANDREA MEYER, WOLFGANG VOGT, STEFAN SAGKOB

### 1 Einleitung

Die Proteinversorgung von Mastschweinen wirkt sich neben der biologischen Leistung auch auf die Höhe der Ammoniakemissionen aus. Die Emissionsrate in der novellierten TA Luft (2021) beträgt 2,91 kg NH<sub>3</sub> je Mastplatz und Jahr für eine stark N-/P-reduzierte Fütterung. Dieser Wert wurde von dem TA Luft (2002) existierenden Wert (3,64 kg NH<sub>3</sub> je Mastplatz und Jahr) abgeleitet und entspricht einer Reduzierung von ca. 20 %. Die LWK Niedersachsen misst im „Transparenten Stall“ der Leistungsprüfungsanstalt (LPA) Quakenbrück die Ammoniakemissionen von Mastschweinen bei unterschiedlicher Rohproteinversorgung.

### 2 Material und Methoden

Zwei Futtergruppen mit unterschiedlicher Rohproteinversorgung wurden in vier Durchgängen (DG) untersucht. Der Stall verfügt über fünf baugleiche und lüftungstechnisch getrennt betriebene Abteile mit jeweils 40 Mastplätzen. Das Haltungssystem ist eine konventionelle Schweinemasthaltung mit perforiertem Boden und darunterliegender Güllelagerung. Die Trockenfütterung mit pelletiertem Fertigfutter erfolgte ad libitum. Der Untersuchungszeitraum erstreckte sich über vier komplette Mastdurchgänge (2020 bis 2022), die sich auf alle Jahreszeiten gleichmäßig verteilen. In zwei Durchgängen wurde die Kontrollgruppe in zwei Abteilen N-/P-reduziert nach Düngeverordnung und die Versuchsgruppe in drei Abteilen sehr stark N-/P-reduziert nach DLG gefüttert. Um mögliche Einflüsse der Abteile zu ermitteln, erfolgte in zwei weiteren Durchgängen ein Abteilwechsel von Kontroll- und Versuchsgruppe.

Tab. 1: Übersicht über die zwei Futtergruppen

	Einheit	Kontrollgruppe N-/P-reduziert (DüV)			Versuchsgruppe sehr stark N-/P-reduziert (DLG)			
		28–40	40–70	70–122	28–40	40–65	65–90	90–122
Mastabschnitt	kg	28–40	40–70	70–122	28–40	40–65	65–90	90–122
Rohprotein	%	17,5	17,0	16,0	16,5	15,5	14,0	13,5
Lysin	%	1,10	1,00	0,90	1,10	1,00	0,90	0,90
ME	MJ/kg	13,2	13,2	13,0	13,2	13,2	13,0	13,0
Phosphor	%	0,50	0,45	0,45	0,44	0,42	0,40	0,40

Die Abteile werden jeweils über einen Abluftkamin entlüftet. Die Frischluft wird aus dem Stallgang angesaugt und über eine Rieselkanaldecke in den Stall geführt. Für die Messung der NH<sub>3</sub>-Emissionen wurden in den Abluftkaminen die Luftvolumenströme und die Gaskonzentrationen erfasst. Die Luftvolumenstromerfassung erfolgt über ein kalibriertes Differenzdruckmesssystem am Abluftkamin.

Für die Gasprobenahme wurden in den Abluftkaminen Messpunkte zur kontinuierlichen Beprobung installiert. Die messtechnischen Voraussetzungen für eine repräsentative Probenahme im laminaren Luftstrom wurden mithilfe von je 6 m langen Abluftkaminen mit entsprechender Einlauf- und Auslaufstre-

cke im Dachraum des Stalles realisiert. Ammoniak in den Luftproben wurde mittels FTIR-Spektroskopie kontinuierlich gemessen. Mit einem Messkanalumschalter wurden Messwerte für die fünf Abteile sowie der Hintergrundkonzentration erhoben. Um Kondensationsprozesse in den Leitungen zu vermeiden, wurden die Messgasleitungen aus PTFE beheizt und isoliert. Die Ammoniakfracht wird aus dem Produkt von Ammoniakkonzentration und dem Luftvolumenstrom berechnet.

Zur Validierung der Messergebnisse wurden Nährstoffbilanzierungen von Stickstoff und Phosphor aufgestellt, die sich aus der Nährstoffzufuhr aus dem Futter abzüglich des Ansatzes im Tierkörper und der Wiederfindung in der Gülle und der Abluft ergeben.

### 3 Ergebnisse

Es konnte eine deutliche Reduktion der Ammoniakfrachten in allen vier Durchgängen nachgewiesen werden (Abb. 1). Die höchste Minderung wurde unter Sommerbedingungen erreicht. Dies ist plausibel, weil die Ammoniakemissionen bei höheren Sommertemperaturen grundsätzlich höher sind.

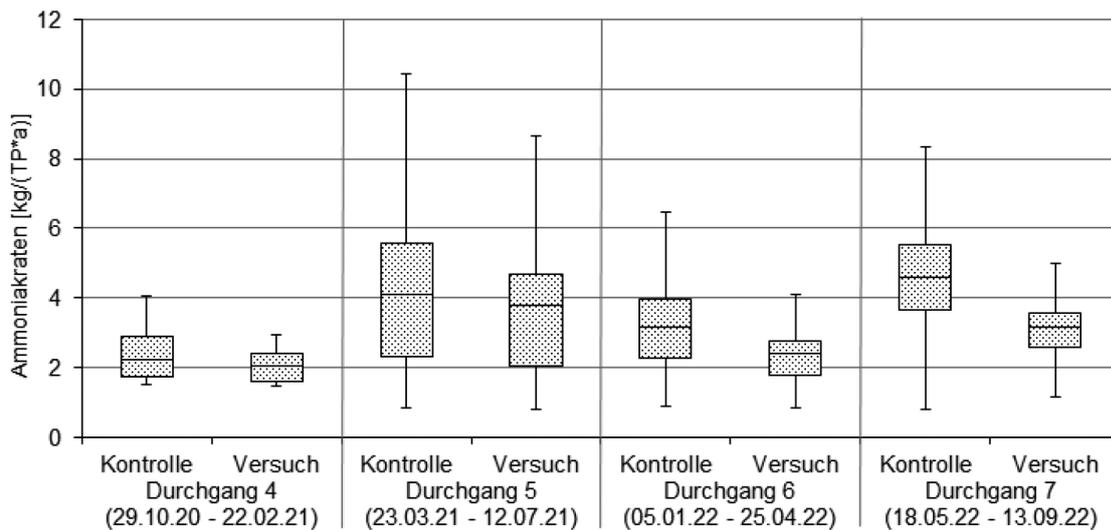


Abb. 1: Boxplots der Ammoniakraten in  $\text{kg NH}_3$  je  $\text{TP}^{-1} \text{a}^{-1}$  der Versuch- und Kontrollgruppen der Durchgänge 4 bis 7 (© LUFA)

Die Emissionsmessungen über vier kontinuierlich gemessene Mastdurchgänge decken mit Sommer-, Winter- sowie Übergangszeiten den Verlauf eines gesamten Jahres ab und mit den Wetteraufzeichnungen einer umliegenden Wetterstation des DWD abgeglichen.

Die Emissionsfrachten der Einzeldurchgänge wurden anhand des Masttages und der Außentemperatur für eine gleichmäßige Abdeckung auf die Jahreszeiten gewichtet und daraus die Emissionsrate bestimmt.

Bei N-/P-reduzierter Fütterung wurde eine Emissionsrate von  $3,31 \text{ kg NH}_3 \text{ je TP}^{-1} \text{a}^{-1}$  ermittelt. Diese Emissionsrate ist  $0,4 \text{ kg}$  höher als der Wert nach TA Luft (2021). Die ermittelte Emissionsrate der Fütterungsvariante „sehr stark N-/P-reduziert (DLG)“ von  $2,56 \text{ kg NH}_3 \text{ TP}^{-1} \text{a}^{-1}$  ist deutlich geringer als der entsprechende Wert der TA Luft von  $2,91 \text{ kg NH}_3 \text{ TP}^{-1} \text{a}^{-1}$ .

Bei den Untersuchungen konnte eine Verminderung der biologischen Leistungen nicht festgestellt werden.

Die sehr stark N-/P-reduziert gefütterten Tiere schieden rechnerisch im Durchschnitt 20 % weniger Stickstoff und 13 % weniger Phosphor als die N-/P-reduziert gefütterten Tiere aus. Bestätigt wird dies durch Nährstoffbilanzen mit sehr guten Wiederfindungsraten für Stickstoff (85 %) und Phosphor (94 %).

## 4 Fazit

Die kontinuierlichen Messungen der Emissionsraten über vier komplette Mastdurchgänge ermöglichten eine gleichmäßige Abdeckung aller Jahreszeiten. Die daraus resultierenden Emissionsraten lagen bei der „sehr stark N-/P-reduzierten Fütterung (DLG)“ bei  $2,56 \text{ kg NH}_3 \text{ TP}^{-1} \text{ a}^{-1}$  gegenüber  $3,31 \text{ kg NH}_3 \text{ TP}^{-1} \text{ a}^{-1}$  bei N-/P-reduzierter Fütterung. Die Proteinreduzierung hatte keinen negativen Einfluss auf die biologischen Leistungen, Wasserverbrauch oder Gülleanfall.

## Literatur

TA LUFT (2021): Neufassung der Ersten Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz vom 18. August 2021 (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft). GMBI 2021 Nr. 48–54, S. 1050

# Makroalge verfüttern, Kuh-Toilette im Stall oder Gülleensäuerung auf dem Acker? – Umweltwirkungen innovativer Emissionsminderungstechnologien

RENÉ MÉITÉ, LUKAS BAYER, MICHAEL MARTIN, BARBARA AMON, SANDRA UTHES

## 1 Einleitung

Zur Minderung der Emissionen in der Milchviehhaltung stehen verschiedene Maßnahmen zur Diskussion: u. a. die Verfütterung der Makroalge *Asparagopsis* (Beauchemin et al. 2022), die Verwendung einer Kuh-Toilette zur direkten Trennung von Urin und Kot (Galama et al. 2020) sowie die Gülleensäuerung auf dem Acker (Fangueiro et al. 2015).

Ziel dieses Beitrags ist es, die Umweltwirkungen dieser drei Maßnahmen, die bisher nicht oder nur auf Grundlage vorläufiger Schätzungen vorliegen, zu bewerten sowie mögliche Zielkonflikte aufzuzeigen.

## 2 Material und Methoden

Methodisch kam eine attributive Lebenszyklusanalyse (LCA) mit dem Fokus auf die Systemgrenzen der „Wiege bis zum Hoftor“ zur Anwendung. Bei dieser Methode werden neben den direkten Emissionen auf der Betriebsebene auch die Effekte vorgelagerter Prozesse einbezogen, die in Wirkungskategorien verrechnet werden. Mit der Software openLCA v.1.11 (Greendelta 2022) wurden die vier Wirkungskategorien Treibhauspotenzial (GWP), Eutrophierungspotenzial (EP), Versauerungspotenzial (AP) und abiotische Verarmung (AD) der CML-IA-baseline-Methode berechnet (Guinée 2002). Die funktionelle Einheit war 1 kg fett- und eiweißkorrigierte Milch (FPKM). Prozesse der Ecoinvent-3.8-Datenbank wurden auf Grundlage von KTBL-Daten und Experteneinschätzungen regionalisiert und angepasst.

Als Referenz (Ref) wurde das Mittel der Daten des Integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystems (InVeKoS) zu spezialisierten Brandenburger Milchviehbetrieben ermittelt, um einen typischen Betrieb abzubilden (1.026 Kühe, davon 666 Milchkühe, ganzjährige Laufstallhaltung, Güllelagerung mit natürlicher Kruste, Schleppschlauchausbringung, jährliche Milchleistung: 10.000 FPKM/Tier/Jahr).

Die Minderungsmaßnahmen wurden in verschiedenen Szenarien modelliert. Die Fütterung von *Asparagopsis* wurde in zwei Szenarien, mit niedrigem (SW low) und hohem Zufütterungsgrad (SW high), simuliert, unter den Annahmen, dass die Algenproduktion in einem landbasierten System in Schweden erfolgt und der Milchertrag bei einer hohen Zufütterung um 12 % abnimmt.

Die Kuh-Toilette wurde ohne (CT1) und in Kombination mit einer getrennten, geschlossenen Lagerung und Ausbringung des Urins per Injektion (CT2) modelliert. Mineraldünger wurde dabei durch Urin ersetzt.

Die Gülleensäuerung (AS) wurde bei der Erzeugung des Ackerfutters eingesetzt, während der Futterzukauf von der Maßnahme unberührt blieb. Neben der Produktion der benötigten Säure wurde eine entsprechende Ausgleichskalkung berücksichtigt.

In einer Maßnahmenkombination (CM) wurden die hohe Zufütterung der Alge, die Kuh-Toilette mit angepasstem Management und die Gülleensäuerung zusammen betrachtet.

### 3 Ergebnisse

Eine geringe Zufütterung der Alge (SW low) reduziert das GWP, bewirkt jedoch eine Verschlechterung der anderen Wirkungskategorien durch dessen Produktion (Abb. 1). Ein hoher Zufütterungsgrad (SW high) verringert das GWP deutlicher, verstärkt aber durch den höheren Algenbedarf die produktionsbedingten negativen Auswirkungen (Abb. 1).

Wirkungs-kategorie	Einheit	Ref absoluter Wert	SW low [%]	SW high [%]	CT1 [%]	CT2 [%]	AS [%]	CM [%]
Treibhaus-potenzial (GWP)	kg CO <sub>2</sub> e	1.00	-10.0	-23.4	0.3	-3.7	0.1	-27.1
Eutrophierungs-potenzial (EP)	g PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> e	4.47	1.9	3.9	-4.4	-10.2	-2.0	-8.5
Versauerungs-potenzial (AP)	g SO <sub>2</sub> e	8.96	2.6	5.1	-10.3	-23.0	0.9	-17.1
Ablotische Verarmung (AD)	MJ	4.03	10.2	20.4	0.8	-4.8	2.4	17.2

Abb. 1: Umweltwirkungen der Szenarien im Vergleich zur Referenz pro kg FPKM, negative Werte bedeuten eine Verbesserung, positive Werte eine Verschlechterung der spezifischen Auswirkung (© R. Méité)

Die Kuh-Toilette (CT1) reduziert EP und AP, bei einer gleichzeitigen Erhöhung von GWP und AD. Mit einem zusätzlich angepassten Gülle-Management (CT2) können alle Wirkungskategorien vermindert sowie negative Effekte kompensiert werden. Die Gülle-ansäuerung (AS) hat in der Betrachtung des gesamten Systems einen geringen Einfluss auf die Wirkungskategorien, da die Ackerfutterproduktion nur in geringem Umfang zu den Umweltwirkungen in der Modellierung beiträgt. Betrachtet man die Wirkung der Gülle-ansäuerung auf der Ebene der Ackerfutterproduktion, wird die Minderung von EP sowie die Zunahme von AP und AD deutlicher. Die Effekte aus der Emissionsreduktion und der Zunahme an Emissionen durch die verwendete Säure und Kalkung gleichen sich annähernd aus. Die Maßnahmenkombination (CM) erreicht die umfangreichsten Minderungen der meisten Kategorien, wobei ein Anstieg von AD durch den höheren Energiebedarf für produktionsbedingte Prozesse der Maßnahmen erfolgt (Abb. 1).

### 4 Schlussfolgerung

Die Maßnahmen reduzieren erfolgreich einzelne oder mehrere negative Umweltwirkungen. Jedoch führt jede Maßnahme auch zu Zielkonflikten, beispielsweise bei der Verfütterung der Alge zwischen GWP und AD oder bei der Gülle-ansäuerung zwischen EP und AP. Maßnahmenkombinationen konnten negative Effekte einzelner Maßnahmen kompensieren.

Unsere Ergebnisse verdeutlichen die Bedeutung der Wechselwirkungen von verschiedenen Minderungsmaßnahmen in der Wirtschaftsdünger- und Düngerkette für den Gesamterfolg der Emissionsminderung. Die existierende Umweltgesetzgebung (z. B. Düngeverordnung oder TA Luft) und das Agrarinvestitionsförderprogramm sind jedoch häufig auf die Verwendung einzelner Technologien ausgerichtet, ohne Wechselwirkungen explizit zu berücksichtigen. Ein ganzheitlicher Ansatz mit gezielten Maßnahmenkombinationen für das Gesamtbetriebssystem könnte helfen, zukünftig bessere Emissionsminderungen zu erzielen. Förderprogramme sollten angepasst werden, da Maßnahmenkombinationen meist höhere Kosten verursachen.

## Literatur

- Beauchemin, K. A.; Ungerfeld, E. M.; Abdalla, A. L.; Alvarez, C.; Arndt, C.; Becquet, P. et al. (2022): Invited review: Current enteric methane mitigation options. *Journal of dairy science* 105(12), pp. 9297–9326, doi.10.3168/jds.2022-22091
- Fangueiro, D.; Hjorth, M.; Gioelli, F. (2015): Acidification of animal slurry—a review. *Journal of Environmental Management* 149, pp. 46–56, doi.10.1016/j.jenvman.2014.10.001
- Galama, P. J.; Ouweltjes, W.; Endres, M. I.; Sprecher, J. R.; Leso, L.; Kuipers, A.; Klopčič, M. (2020): Symposium review: Future of housing for dairy cattle. *Journal of dairy science* 103(6), pp. 5759–5772, doi.10.3168/jds.2019-17214
- Greendelta (2022): OpenLCA v.1.11, GreenDelta GmbH. Berlin. <https://openlca.org>, Zugriff am 16.08.2023
- Guinée, J.B. (2002): *Handbook on Life Cycle Assessment. Operational Guide to the ISO Standards*. Springer (Netherlands)

## Förderhinweis

Dieser Artikel wurde von dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert, Fördervereinbarung 031B0751 „BioKum – Kumulative Wirkungen bioökonomischer Strategien für eine nachhaltigere Landwirtschaft“.

## Minderung der Feinstaubbelastung in eingestreuten Ställen

IRENE MÖSENBACHER-MOLTERER, MICHAEL KROPSCH, EDUARD ZENTNER

### 1 Einleitung

Staub als unbelebtes Bioaerosol, hohe Schadgaskonzentrationen sowie suboptimale Feuchtigkeitsgehalte der Luft haben eine entscheidende Bedeutung hinsichtlich der Entwicklung von respiratorischen Erkrankungen von Tier und Mensch sowie weiterführend auf die Emissions- sowie Umweltwirkung von eingestreuten Ställen. Um diesen Problematiken entgegenzuwirken, wurde von der Firma Schauer Agrotro-nic (Prambachkirchen, Österreich) eine Strohmatic-Anlage zur Automatisierung von Einstreuvorgängen in Ställen der Nutztierhaltung konzipiert. Eine Strohmühle zerkleinert hierbei das eingebrachte Material, welches nach Absaugung des Staubes vollautomatisch im Stall verteilt wird. Im Rahmen von Voruntersuchungen wurden Minderungsgrade von -78,6 % bei  $PM_{10}$  bei dem automatisiert und entstaubtem Streumaterial im Vergleich zu dem händisch eingebrachtem, unentstaubtem im Tierbereich erhoben (Mösenbacher-Molterer und Kropsch 2019). Als eine weitere Maßnahme zur Emissionsminderung von  $PM_{10}$  wird ebenso das Versprühen von Öl (Berry et al. 2005) oder Wasser (Mösenbacher-Molterer und Kropsch 2020) angeführt.

### 2 Material und Methode

Zur weiteren Quantifizierung der Techniken wurden im Rahmen eines Verbundprojektes zur Prüfung eines funktionsgetrennten, emissionsarmen Tierwohlstalles für 850 Mastschweine (Konzept NatureLine, Firma Schauer Agrotro-nic, Prambachkirchen, Österreich) begleitende Messungen durchgeführt. Mittels zweier Mini-Laser-Aerosol-Spektrometer 11-C der Firma Grimm Aerosol Technik (Ainring) (Auswertegrößen  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$  und  $PM_1$  sowie Verteilung über 31 Größenkanäle) wurden im Ruhe- als auch im Außenbereich in alternierenden Messreihen neben einer Vielzahl klimatischer Parameter die Staubpartikelzahlen erhoben. Neben mehrtägigen Versuchsreihen über einen Zeitraum von eineinhalb Jahren zur Abdeckung tages- als auch jahreszeitlicher Verläufe wurde ebenso ein exakter Variantenvergleich zur Einordnung der einzelnen Maßnahmen durchgeführt.

### 3 Ergebnisse

Die Ergebnisse sind vielversprechend und zeigen die gute Wirksamkeit der Einstreu- und Entstaubungs-technik. Die konkrete Differenzierung der Techniken Zerkleinerung/Entstaubung/Automation der Streu sowie Einbringung von Rapsöl in die Stallluft konnten dies verdeutlichen. Als Kontrollvariante diente händische Einstreu mit Langstroh mit/ohne Öleinbringung.

- 1 = Strohmatic Welfare  
+ Ölvernebelung  
2 = Strohmatic Welfare  
ohne Ölvernebelung  
3 = Einstreu händisch Langstroh  
ohne Ölvernebelung  
4 = Einstreu händisch Langstroh  
+ Ölvernebelung

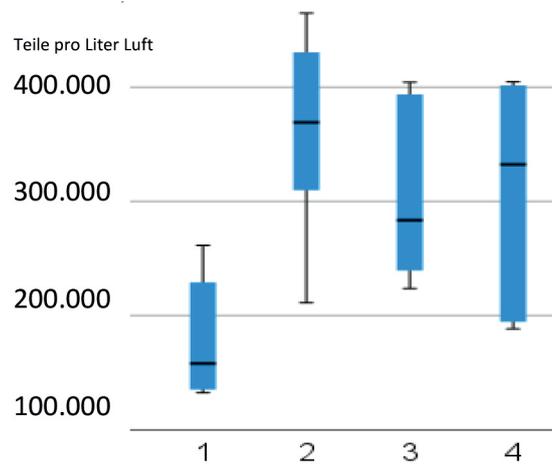


Abb. 1: Messwerte im Variantenvergleich bei einer Einstreumenge von 100 g/Tier/d (© I. Mösenbacher-Molterer)

Bei Analyse der Messwerte im eingestreuten, über Unterflurzuluft und Coolpad klimatisierten Ruhebereich zeigt sich ein jahreszeitlicher und aktivitätsbezogener Einfluss mit einem positiven Effekt der Einstreu- sowie Ölvernebelungstechnik. Die Staubpartikelzahlen differieren signifikant zwischen den unterschiedlichen Betriebs- und Managementzuständen. Vergleichend zeigt sich der teilperforierte, frei belüftete und außenklimageprägte Aktivitätsbereich mit niedrigeren Werten (bis Faktor 10). Die Partikelzahl der Größenkategorie  $\leq PM_1$  sank während der kühleren Monate im wärmegeprägten Ruhebereich um bis zu zehn Prozentpunkte, wobei der Anteil der Größenklasse  $\leq PM_{10}$  am Gesamtstaub jeweils über 99 % lag.

Tab. 1: Gemittelte Messwerte relevanter Größenklassen im Ruhebereich

Messzeitraum	Messwerte in Teilchen pro Liter Luft Mittel über alle Messtage in %	Messwerte in Teilchen pro Liter Luft Anteil in % der Gesamtpartikelzahl Staubmassenanteil in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (kalkulierte Masse)		
		PM10	PM2,5	PM1
Sommer 2021	167.223	167.079	165.657	164.241
	100 %	99,91 %	99,06 %	98,22 %
		212 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Herbst 2021	361.341	360.108	353.032	347.175
	100 %	99,66 %	97,70 %	96,08 %
		1.242 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	104 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Winter 2021/22	256.636	255.113	238.274	226.508
	100 %	99,41 %	92,84 %	88,26 %
		2.766 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	199 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Frühjahr 2022	290.101	288.902	286.668	276.584
	100 %	99,59 %	98,82 %	95,34 %
		1.342 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	98 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

## 4 Fazit

Die erhobenen Werte sind gegenüber bestehenden Untersuchungen als vergleichbar bis niedrig anzusehen (Büscher et al. 2012). Maßgeblich hierfür sind die automatisierte Entstaubungs-/Einstreuanlage Strohmatic Welfare mit zusätzlicher Ölvernebelung sowie das gute Management im Betrieb. Diese Techniken werden neben der Feinstvernebelung von Wasser künftig als Best-Practice-Anwendungen in eingestreuten Tierwohlställen anzusehen zu sein.

## Literatur

Berry, N.; Zeyer, K.; Emmenegger, L.; Keck, M. (2005): Emissionen von Staub (PM10) und Ammoniak (NH3) aus traditionellen und neuen Stallsystemen mit Untersuchungen im Bereich der Mastschweinehaltung. Ettenhausen (Schweiz), Agroscope FAT Tänikon

Büscher, W.; Henseler-Paßmann, J.; Schmitthausen, A. (2012): Feinstaubbelastungen in Tierställen – Situationsbewertung und Minderungsmaßnahmen. Forschungsbericht Nr. 169, Bonn, Landwirtschaftliche Fakultät der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität

Mösenbacher-Molterer, I.; Kropsch, M. (2020): Prüfung einer Zweistoffdüsenteknik zur Reduktion von luftgetragenen Stäuben und Optimierung des Stallklimas in der Schweinehaltung. Messbericht, Irdning-Donnersbachtal, HBLFA Raumberg-Gumpenstein

Mösenbacher-Molterer, I.; Kropsch, M. (2019): Staubkonzentrationen im Ruhebereich von Tierwohlstallungen. Messbericht, Irdning-Donnersbachtal, HBLFA Raumberg-Gumpenstein

## Förderhinweis

**Mit Unterstützung von Bund, Ländern und Europäischer Union**

 **Bundesministerium**  
Land- und Forstwirtschaft,  
Regionen und Wasserwirtschaft

  
**LE 14-20**  
Entwicklung für den Ländlichen Raum

Europäischer  
Landwirtschaftsfonds für  
die Entwicklung des  
ländlichen Raums:  
Hier investieren Europa in  
die ländlichen Gebiete.



## Die praktische Umsetzung der nährstoffangepassten Mastschweinefütterung: ein wertvoller Beitrag zum Umwelt- und Ressourcenschutz in Bayern

REINHARD PUNTIGAM, KATJA KREBELDER, ANNE HABERLAND PIMENTEL, STEPHAN SCHNEIDER, HUBERT SPIEKERS

### 1 Einleitung

Die bedarfsgerechte Rohprotein(XP)- und Phosphor(P)-Versorgung von Schweinen stellt eine bedeutende Strategie dar, um den Anforderungen der Düngegesetzgebung (Düngeverordnung (DüV), Stoffstrombilanzverordnung (StoffBiV)) und Umweltgesetzgebung (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft)) hinsichtlich des Nährstoffanfalls (Stickstoff (N) und Phosphat ( $P_2O_5$ )) und der Emissionsreduktion (Ammoniak ( $NH_3$ )) aus der Schweineproduktion gerecht zu werden. Das Reduktionspotenzial hinsichtlich der  $NH_3$ -Emissionen, basierend auf der gezielten XP-Absenkung unter adäquater Supplementierung kristalliner Aminosäuren in Schweinemastrationen, wurde in den vergangenen Jahren sehr umfassend wissenschaftlich untersucht (Rocha et al. 2022). Studien belegen, dass eine Absenkung des XP-Gehaltes von 10 g in den Schweinemastrationen das Emissionspotenzial von  $NH_3$  um 11 % senkt (Sajeev et al. 2018). Für den Fall, dass importierter Sojaextraktionsschrot (SES) aus Übersee mit einer Landnutzungsänderung (LUC) verbunden ist, trägt dieser maßgeblich zur Treibhausgasemission bei (SES mit LUC: 3,12 vs. Rapsextraktionsschrot: 0,47 kg  $CO_2e/kg$  TF 88 %, GFLI FeedPrint International/FeedPrint NL). Somit kann die Verwendung von entwaldungs- und landnutzungsänderungsfrei zertifiziertem SES einen wertvollen Beitrag zur Reduktion des ökologischen Fußabdruckes leisten. Auch die Anwendung der mikrobiellen Phytase lässt eine gezielte Reduktion des P-Gehaltes ohne negative Auswirkungen auf die tierische Leistungsfähigkeit wie auch Tiergesundheit zu (Rosenfelder-Kuon et al. 2020). Damit wird es möglich gemacht, der Eutrophierung und Gefährdung der Ökosysteme durch hohe P-Frachten wirkungsvoll entgegenzutreten und nachhaltig die (endliche) mineralische P-Quelle zu schonen. Die Umsetzung der Forschungsergebnisse erfordert einen gezielten Wissenstransfer mit dem Zusatz der zeitnahen Implementierung. Zur nachhaltigen XP- und P-Reduktion wurde daher in Zusammenarbeit mit weiteren Partnern in der Verbundberatung (StMELF, AELF, LKV Bayern e.V.) ein operatives Rahmenziel zur planmäßigen Ausrichtung der Beratung und zur quantitativen Messung von Beratungserfolgen festgesetzt. Ziel war es, die Vorteile der nährstoffangepassten Fütterung hinsichtlich der Umweltwirkung, des Tierwohls sowie der Ökonomie aufzuzeigen und die Nährstoffanpassung noch konsequenter in der praktischen Schweinemast voranzutreiben.

### 2 Material und Methoden

Als Datengrundlage zur Berechnung des Gehaltes an XP und P der mittleren Mastrationen dienten die Rationsberechnungen der Ringberater Schwein des LKV Bayern e.V mittels des EDV-Programms „Zielwert-Futter-Optimierung“ (Zifo2) der LfL-Tierernährung, die über eine Schnittstelle mit den Futtermitteln (LKV-Auswertungsprogramm „Ring-Mast-Schwein“ (RMS)) verknüpft wurden. Den dargestellten Ergebnissen liegen Daten von mehr als 24 Mio. Tieren (Juli 2015 bis Januar 2023) zugrunde, die an der LfL aufbereitet und interpretiert wurden.

### 3 Ergebnisse und Diskussion

Die Gehalte an XP (g/kg, 88 % TM) der mittleren Mastrationen im Zeitverlauf zeigen, dass sich diese im betrachteten Zeitraum von 167 auf 149 g/kg reduzieren ließen (Abb. 1).

Dies entspricht einer absoluten Reduktion von 18 g XP je kg TF bzw. nach Sajeev et al. (2018) einer knapp 20%igen NH<sub>3</sub>-Emissionsminderung. Mit der Reduktion des XP-Gehaltes geht ebenfalls eine Absenkung des Gehaltes an P in der mittleren Mastration einher (Abb. 2). Im betrachteten Zeitraum sank der Gehalt an P von 4,8 auf 4,3 g/kg TF.

Dies entspricht einer absoluten Reduktion von 0,5 g. Trotz deutlicher Reduktion im Gehalt an XP und P konnte eine Steigerung der mittleren täglichen Zunahmen von 780 g (Juli 2015) auf 869 g (Januar 2023) im Mittel des gesamten Erhebungszeitraums festgestellt werden. Neben den täglichen Zunahmen konnte auch kein negativer Effekt auf den Muskelfleischanteil (59,3 %, Januar 2023) der Tiere, trotz deutlicher XP- und P-Reduktion, nachgewiesen werden.

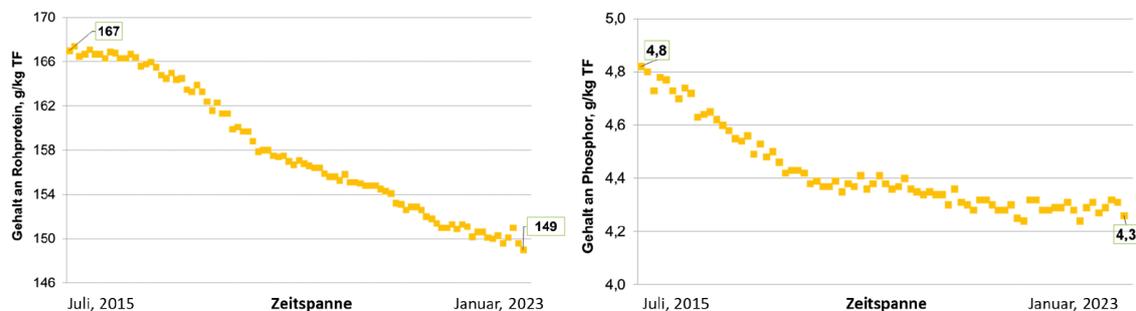


Abb. 1 und Abb. 2: Gehalte an XP und P in den mittleren Schweinemastrationen im Verlauf des Betrachtungszeitraumes. TF = Trockenfutter mit 88 % Trockenmasse. (© R. Puntigam)

Die modellhafte Berechnung praktischer Schweinemastrationen verdeutlicht, dass durch planmäßige Fütterungsberatung, mehrphasige Fütterungskonzepte und dem Einsatz hochwertiger Mineralfuttermittel oder Eiweißergänzungsfuttermittel der Anteil an SES in den Futtermischungen deutlich reduziert werden kann. Während die Mastschweine unter Anwendung einer Ration mit mittlerem XP-Gehalt von 167 g/kg TM ca. 41 kg verbrauchen, werden bei 149 g/kg 16 kg weniger je Mastschwein erforderlich (ca. -40 %). Damit kann auch die Ausscheidung an N um 23,0 % je Mastschwein reduziert werden.

### 4 Fazit

Die bedarfs- und umweltgerechte Tierernährung trägt – ohne die Leistungsfähigkeit sowie das Wohlbefinden und die Tiergesundheit einzuschränken – wesentlich zum Umwelt- und Ressourcenschutz bei. Mit den dargestellten Ergebnissen kann das Potenzial der Absenkung des XP- sowie P-Gehaltes in der mittleren Mastration unter adäquater Supplementierung kristalliner Aminosäuren sowie der mikrobiellen Phytase deutlich veranschaulicht werden. Zusätzlich kann mit diesen stetig verbesserten Ergebnissen ebenfalls untermauert werden, dass Beratung bzw. dessen Erfolg messbar gemacht werden kann und konkrete Ziele mit einem abgestimmten Controlling zur Steuerung der Beratungsarbeit zielführend sind.

## Literatur

- Rocha, G. C.; Duarte, M. E.; Kim, S. W. (2022): Advances, Implications, and Limitations of Low-Crude-Protein Diets in Pig Production. *Animals* 12(24), 3478
- Rosenfelder-Kuon, P.; Siegert, W.; Rodehutschord, M. (2020): Effect of microbial phytase supplementation on P digestibility in pigs: a meta-analysis. *Archives of Animal Nutrition* 74(1), pp. 1–18
- Sajeev, E. P. M.; 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* 110(1), pp. 161–175

## Does Sensor Positioning Impact Emission Estimation in Naturally Ventilated Dairy Barns?

HARSH SAHU, SABRINA HEMPEL, THOMAS AMON, JÜRGEN ZENTEK, DAVID JANKE

### 1 Introduction

In naturally ventilated dairy buildings (NVDB), computing accurate gas emission values by the direct method (Eq. 1) is highly complicated. The external weather affects measurements of the gas concentration of pollutants ( $c$ ) and volume flow rate ( $Q$ ) due to the open-sided design (Janke et al. 2020a). The incoming and outgoing wind is anticipated from all conceivable directions and speeds and leads to imperfect gas mixing inside the barn (Janke et al. 2020a).

$$E = Q \cdot \Delta c \quad (\text{Eq. 1})$$

The openings of NVDB are comparatively larger than mechanically ventilated barns. Whereby, one complication in NVDB is the identification of the inlet and outlet (Janke et al. 2020b). Previous research shows that increasing the number of sensors to cover the entire side opening can improve measuring accuracy. Nevertheless, standard sensors required to record emissions, e. g. ultrasonic anemometer and gas analyzer are expensive, and increasing the additional units to gain accuracy is an economic burden (De Vogeleeer et al. 2017). However, if an optimal sampling position is identified, accurate measurements can be achieved with fewer sensors. The appropriate sensor placement information can be obtained by understanding and characterizing the concentration gradients and mixing ratios of pollutant gases (Mendes et al. 2015). Therefore, this study focused mainly on the vertical dispersion of  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ , and  $\text{NH}_3$  concentrations at the outlet of an NVDB. It was hypothesized that (i) there is a significant difference in average concentrations of each gas at different sampling heights ( $H$ ), (ii) the wind flow speed ( $V$ ) significantly influences gas concentrations, and (iii) the gas mixing ratio is constant across the sampling heights.

### 2 Data Collection

Experiments were conducted in an open-sided NVDB with free-lying cubicles that housed 355 dairy Holstein-Friesian cows. The experimental barn was situated in Dummerstorf, northeast Germany. The barn was equipped with an automatic milk parlor, and two mechanical scrapers for removing manure from the floor walkways to pits outside the barn. For the experiments, we installed two gas sampling setups (SS1 and SS2) at the north opening of the barn, presuming it to be the outlet and the south opening as the inlet. Both SS1 and SS2 consisted of six sampling positions (SP) in vertical dimensions of ( $H = 0.6, 0.9, 1.5, 1.8, 2.4, \text{ and } 2.7$  m, from the ground level). We used a Fourier-transform infrared (FTIR) spectrometer to measure the  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ , and  $\text{NH}_3$  concentrations coupled with a multiplexer that collected air samples for 3 minutes at each height cyclically in a numerical sequence from top to bottom. Additionally, we recorded the wind direction and speed information at a frequency of 1 Hz by an ultrasonic anemometer installed on a mast at a height of 10 m from the ground.

### 3 Data Processing and Statistical analysis

Measurements were conducted for around two months (02.09.2021 to 06.11.2021). A total of 31,680 observations were recorded for the concentrations of CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, and CH<sub>4</sub> (in ppm). The wind direction (degrees) and speed (m/s) observations were averaged by 3 minutes and synchronized with the time series of gas concentration data. The observations were then filtered after the most prevailing wind direction, i. e. southern to southwestern (between 160° and 270° as per the barn's alignment. This simplification yielded a total of 15,113 observations that excluded other windwards (North, East, West) and narrowed down the data to ensure a straight crossflow serving southern and northern openings as inlet and outlet, respectively. To study the effect of wind speed we segregated the dataset into two levels low ( $V < 3$  m/s) and high ( $V > 3$  m/s). To study the gas mixing ratios, we computed  $\frac{CH_4}{NH_3}$  averaged at each sampling height. For statistical analysis, we conducted Kruskal-Wallis (KW) and generalized linear modeling (GLM) since the data were non-normally distributed. Hypotheses were tested at a 5 % significance level and will be displayed as p-values. Furthermore, to find the variations between each sampling height we computed relative percentage errors. In Eq. 2, A is the mean concentration of a target gas at respective sampling heights (H = 0.9, 1.5, 1.8, 2.4, 2.7) and B is the baseline, i.e. the mean concentration of a target gas at the bottom (H = 0.6).

$$\text{Relative error (\%)} = \frac{A-B}{B} \times 100 \quad (\text{Eq. 2})$$

### 4 Results

As per the statistical tests, the sampling height (H) and wind speed (V) had a significant effect on concentrations of all three measured gases ( $p < 0.001$ , KW, GLM). In general, the gas-height relationship trended negatively during high speed and positively during low wind speed. We found that due to high wind speed, the mean CH<sub>4</sub> concentrations at H = 2.7 dropped by -19.31 % in SS1 and -5.68 % in SS2 compared to the baseline. Conversely, due to low wind speed, the mean CH<sub>4</sub> concentrations at H = 2.7 were increased by +24.18 % in SS1 and +81.04 % in SS2. Similarly, the inflation in mean NH<sub>3</sub> concentrations at H = 2.7 was also greater for low wind speeds, exhibiting an increase of +55.47 % and +105.10 % in SS1 and SS2, respectively. In addition, the mixing ratios of  $\frac{CH_4}{NH_3}$  were almost stable at  $H \geq 1.5$  and highly deviated from the mean particularly at H = 0.6 and 0.9 in both SS1 and SS2.

### 5 Discussions

Based on the results, hypothesis 1 can be considered true. It is implied that there is a systematic error associated with the vertical gas sensor positioning at the outlet. The uneven distribution of gases inside the enclosed barn space, which are carried by the out-flowing wind, can be one reason for the spatial vertical dispersion of the gas concentrations observed at the outlet's interface (De Vogeleer et al. 2017, Janke et al. 2020b). By adding wind speed as a covariable, the concentrations of all three target gases were consistently decreased at high speed and increased at low speed, thereby, hypothesis 2 is also proven. This mixing ratio of  $\frac{CH_4}{NH_3}$  was deviated significantly from the mean, hence hypothesis 3 is not true. The deviation in the ratio below H = 1.5, can be explained by the animal activity as this height corresponds to the animal-occupied zone (Mendes et al. 2015). Overall, the ratio was mostly consistent at  $H \geq 1.5$  which can

be considered as an optimum sensor position for measuring all three target gases at the outlet to calculate emissions by direct method.

## 6 Conclusions

In conclusion, our study demonstrates that: (i) the vertical positioning of gas sensors can influence the accuracy of gas concentration measurement in the NVDB outlet. (ii) Our results indicate systematic errors in gas concentrations depending on the sampling height. (iii) All three measured gases (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, and NH<sub>3</sub>) were highly concentrated at the top sampling height (H = 2.7 m) during low wind speed events and vice versa during high speed. (iv) The mixing ratio of  $\frac{CH_4}{NH_3}$  was unstable below 1.5 m, i.e. animal height. (v) We found that H ≥ 1.5 m (or above 35 % of the outlet's height) can be the appropriate location for measuring gas concentration for the direct method.

## Literature

- De Vogeleer, G.; Pieters, J. G.; Van Overbeke, P.; Demeyer, P. (2017): Effect of sampling density on the reliability of airflow rate measurements in a naturally ventilated animal mock-up building. *Energy and Buildings* 152, pp. 313–322
- Janke, D.; Willink, D.; Ammon, C.; Hempel, S.; Schrade, S.; Demeyer, P.; ... Amon, T. (2020a): Calculation of ventilation rates and ammonia emissions: Comparison of sampling strategies for a naturally ventilated dairy barn. *Biosystems Engineering* 198, pp. 15–30
- Janke, D.; Yi, Q.; Thormann, L.; Hempel, S.; Amon, B.; Nosek, Š.; ... Amon, T. (2020b). Direct measurements of the volume flow rate and emissions in a large naturally ventilated building. *Sensors* 20(21), 6223
- Mendes, L. B.; Edouard, N.; Ogink, N. W.; van Dooren, H. J. C.; Ilda de Fátima, F. T.; Mosquera, J. (2015). Spatial variability of mixing ratios of ammonia and tracer gases in a naturally ventilated dairy cow barn. *Biosystems Engineering* 129, pp. 360–369

## Milchviehrationen mit unterschiedlichem Rohproteingehalt: Effekt auf Ammoniak- und Lachgasemissionen

SABINE SCHRADER, KERSTIN ZEYER, JOACHIM MOHN, MICHAEL ZÄHNER

### 1 Einleitung

Die Reduktion stickstoffhaltiger Luftschadstoffe bei der Produktion landwirtschaftlicher Erzeugnisse gewinnt in den letzten Jahren immer mehr an Bedeutung. Neben der Wirtschaftsdüngerausbringung und -lagerung sowie der (Stall-)Haltung von Nutztieren hat die Stufe Fütterung zu Beginn der Produktionskette einen großen Einfluss auf die Ausscheidung von Stickstoff (N) und somit auch auf die Emissionen. Eine Reduktion des Rohproteingehalts der Ration kann die N-Ausscheidung von Milchkühen verringern und infolgedessen das Bildungs- und Freisetzungspotenzial von Ammoniak (NH<sub>3</sub>) und Lachgas (N<sub>2</sub>O) senken.

Ziel der Untersuchung war es, den Effekt von in der Schweiz üblichen Milchviehrationen mit unterschiedlichen Rohproteingehalten auf die NH<sub>3</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen im Praxismaßstab auf Herdenebene zu untersuchen.

### 2 Material und Methoden

In einem Case-Control-Ansatz wurden die Emissionen von NH<sub>3</sub> und N<sub>2</sub>O in zwei getrennten, jedoch baugleichen Stallabteilen für je 20 laktierende Kühe zeitgleich quantifiziert. Die Messungen im frei belüfteten Liegeboxenlaufstall erfolgten mit einer Tracer-Ratio-Methode mit zwei Tracergasen (Mohn et al. 2018). Die Tracergase wurden mit einem Gaschromatographen (GC-ECD, Agilent 7890A, Agilent Technologies, Santa Clara, USA), NH<sub>3</sub> mit einem Cavity-Ring-Down-Spektrometer (Picarro G2103, Picarro Inc., Santa Clara, USA) und N<sub>2</sub>O mit einem Quantenkaskadenlaser-Spektrometer (QCLAS, QC-TILDAS-CS, Aerodyne Research Inc., Billerica, MA, USA) analysiert. Die Kühe in einem Stallabteil erhielten eine Ration mit 116 g und die Kühe im anderen Stallabteil eine Ration mit 166 g Rohprotein pro Kilogramm Trockenmasse. Nach einer Adaptationsphase erfolgte die Messphase über sechs Tage. Anschließend wurden Rationen für eine zweite Messphase getauscht.

### 3 Ergebnisse

Neben der Außentemperatur und der Windgeschwindigkeit im Stall hatte die Ration einen signifikanten Einfluss auf die NH<sub>3</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen. Für die Ration mit tieferem Rohproteingehalt im Vergleich zum Futter mit höherem Rohprotein resultierten im Mittel um 46 % reduzierte NH<sub>3</sub>-Emissionen (Abb. 1) sowie um fast 20 % reduzierte N<sub>2</sub>O-Emissionen pro Großvieheinheit ( $p < 0,001$ ). Eine Erhöhung der Temperatur oder Windgeschwindigkeit führte insbesondere bei NH<sub>3</sub> zu einem deutlichen Anstieg der Emissionen. Die Einflüsse der Ration, der Außentemperatur und der Windgeschwindigkeit im Stall auf die NH<sub>3</sub>-Emissionen waren hoch signifikant ( $p < 0,001$ ), unabhängig davon, ob sich die Emissionen auf die Großvieheinheit, auf den Trockenmasseverzehr oder auf die energiekorrigierte Milchleistung bezogen. Weiter zeigten sich

deutliche Korrelationen zwischen dem Rohproteingehalt der Ration, der N-Ausscheidung über den Harn und dem Harnstoffgehalt der Milch (Abb. 1).

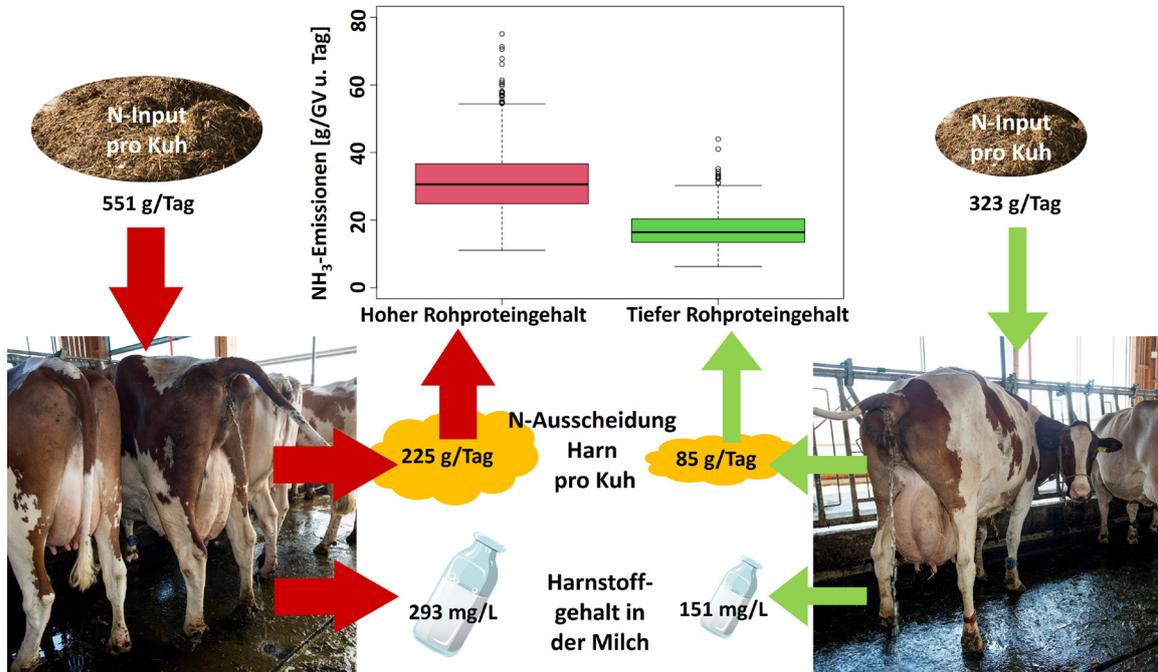


Abb. 1: Schema: N-Gehalte im Futter, in der Milch und im Harn sowie  $\text{NH}_3$ -Emissionen der beiden Rationen (Schrade et al. 2023, verändert)

#### 4 Fazit

Die Untersuchungen auf Herdenebene mit für die Schweiz typischen Rationen zeigten, dass Unterschiede im Rohproteingehalt einen signifikanten Einfluss auf die  $\text{NH}_3$ - und  $\text{N}_2\text{O}$ -Emissionen haben. Somit können die  $\text{NH}_3$ - und  $\text{N}_2\text{O}$ -Emissionen durch gezielte Kontrolle und Nachjustierung der Ration deutlich reduziert werden. Dazu kann bei laktierenden Kühen der Milchharnstoffgehalt als Indikator herangezogen werden. Die Optimierung des Rohproteingehalts der Ration steht zu Beginn der N-Kette und ermöglicht so ein großes Umsetzungspotenzial in der landwirtschaftlichen Praxis, da weder bauliche Veränderungen an Gebäuden noch Zusätze notwendig sind.

#### Literatur

- Mohn, J.; Zeyer, K.; Keck, M.; Keller, M.; Zähler, M.; Poteko, J.; Emmenegger, L.; Schrade, S. (2018): A dual tracer ratio method for comparative emission measurements in an experimental dairy housing. *Atmospheric Environment* 179, pp. 12–22, doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.01.057
- Schrade, S.; Zeyer, K.; Mohn, J.; Zähler, M. (2023): Effect of diets with different crude protein levels on ammonia and greenhouse gas emissions from a naturally ventilated dairy housing. *Science of The Total Environment* 896, doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165027

## Danksagung und Förderhinweis

Herzlichen Dank allen beteiligten Mitarbeitenden von Agroscope, der Empa und des BBZ Arenenberg (Versuchsbetrieb Tänikon) für ihre Unterstützung bei den Messungen und Analysen. Diese Untersuchungen wurden vom Bundesamt für Umwelt der Schweiz (BAFU) sowie dem Schweizer Nationalfonds (SNF) finanziell unterstützt.

## Minderung der Ammoniakemissionen durch die Applikation eines Ureaseinhibitors in der Schweinemast

HENNING SCHULTE, CHRISTIAN AMMON, FRAUKE HAGENKAMP-KORTH, EBERHARD HARTUNG

### 1 Einleitung

Diese Untersuchung zielte darauf ab, die generelle Wirkung eines Ureaseinhibitors zur Minderung der Ammoniakemissionen in einem mechanisch gelüfteten Schweinemaststall über vier Versuchsperioden in einem Jahr aufzuzeigen. Darüber hinaus wurde eine Dosis-Wirkungs-Beziehung zwischen Ureaseinhibitor (Dosisstufen:  $10 \text{ mg m}^{-2}$ ,  $25 \text{ mg m}^{-2}$  und  $50 \text{ mg m}^{-2}$ ) und Ammoniakemissionen untersucht, um herauszustellen, welche Dosisstufe angewendet werden muss, um eine stabile Minderung der Ammoniakemissionen zu erhalten.

### 2 Material und Methoden

Die Versuche wurden in einem zwangsgelüfteten Schweinemaststall in fünf baugleichen Abteilen auf Vollspalten mit identischer Ausstattung über vier Versuchsperioden über ein Jahr durchgeführt. Der Ureaseinhibitor wurde täglich an vier aufeinanderfolgenden Tagen jeweils mit einer handelsüblichen elektrischen Rückenspritzen appliziert. In der Applikationsphase wurden drei der fünf Versuchsabteile mit dem Inhibitor in verschiedenen Dosisstufen ( $10 \text{ mg m}^{-2}$ ,  $25 \text{ mg m}^{-2}$  und  $50 \text{ mg m}^{-2}$ ) behandelt, ein Abteil wurde nur mit Wasser behandelt und im Referenzabteil (Kontrolle) wurde keine Behandlung durchgeführt. Die Schweine wurden vor der Applikation aus dem Abteil auf den Zentralgang getrieben. Es wurde eine Zielmenge von  $0,15 \text{ l m}^{-2}$  angestrebt.

Zur Quantifizierung der Dosis-Wirkungs-Beziehung zwischen den Dosisstufen des Ureaseinhibitors wurde ein lineares gemischtes Modell mit wiederholten Messungen verwendet. Es wurden feste Effekte, wie die Behandlungen innerhalb der Phasen und der Versuchstag, und zufällige Effekte für jedes Abteil innerhalb des Versuchszeitraums berücksichtigt (Schulte et al. 2022).

### 3 Ergebnisse

Die Applikation des Inhibitors von  $10 \text{ mg m}^{-2}$  (Behandlung 1) führte zu einer Verringerung der Ammoniakemissionen von fast 11 %, die Anwendung von  $25 \text{ mg m}^{-2}$  (Behandlung 2) zu einer Verringerung von ca. 21 % und die Anwendung von  $50 \text{ mg m}^{-2}$  (Behandlung 3) zu einer Verringerung von ca. 20 %. Es wurde also ein großer Anstieg der Emissionsreduktion zwischen den Behandlungen 1 und 2 beobachtet. Die Behandlungen 2 und 3 unterschieden sich beide signifikant von der reinen Wasserbehandlung, aber nicht signifikant voneinander (Abb. 1).

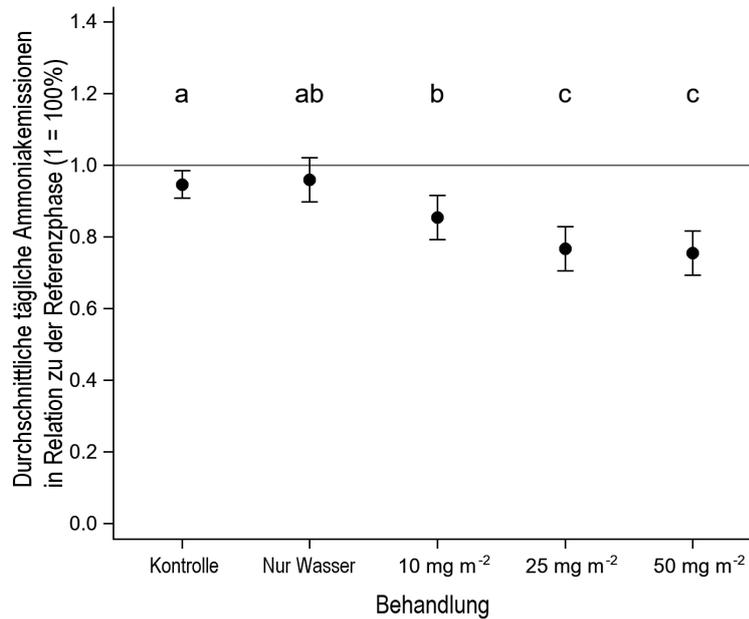


Abb. 1: Vergleich der durchschnittlichen täglichen Ammoniakemissionen in Relation zu der Referenzphase der Behandlungen mit der Kontrolle in der Applikationsphase. Die Fehlerbalken zeigen die 95-%-Konfidenzintervalle der Mittelwerte an. (Schulte et al. 2022)

## 4 Diskussion

In eigenen Voruntersuchen zeigte sich, dass in der Schweinehaltung im Vergleich zur Rinderhaltung höhere Dosislevel des Ureaseinhibitor eingesetzt werden sollten, um eine adäquate Minderung der Ammoniakemissionen zu erreichen. Der Einsatz eines Ureaseinhibitors im Unterflurbereich in Schweinställen mit freier Lüftung zeigte eine Reduktion von ca. 29 % (Calvet et al. 2022).

## 5 Fazit

- Der tägliche Einsatz eines Ureaseinhibitors in zwangsbelüfteten Schweineställen mit Vollspaltenböden führt zu einer Verringerung der Ammoniakemissionen um bis zu 21 %.
- Mit einer Dosis von 25 mg m<sup>-2</sup> kann bereits eine nachhaltige Minderung der Ammoniakemissionen erreicht werden.

## Literatur

Calvet, S.; Arrufat, B.; Salaet, I.; Atares, S.; Sobreviela, A.; Herrero, C.; Estellés, F. (2022). A urease inhibitor reduces ammonia emission in fattening pigs reared on slatted floor in summer conditions. *Biosystems Engineering* 221, pp. 43–53, <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2022.06.009>

Schulte, H.; Ammon, C.; Hagenkamp-Korth, F.; Hartung, E. (2022). Investigating the time-dependent dose–response relationship of ammonia emissions reduction through the application of a urease inhibitor in pig fattening houses. *Biosystems Engineering* 222, pp. 45–61, <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2022.07.008>

## Förderhinweis

Das Projekt wird aus Mitteln des Zweckvermögens des Bundes bei der Landwirtschaftlichen Rentenbank, Frankfurt am Main, gefördert (Fördernummer 839 180).

## Nutzung der Milchanalytik im betrieblichen Fütterungscontrolling für eine klima- und ressourcenschonende, erfolgreiche Milcherzeugung

KATHRIN F. STOCK, NADINE SCHNIPKOWEIT, ANDREAS WERNER, ANKE VAN OHLEN, LUZIE HENTSCHEL, STEPHAN EBSCHKE, WIBKE BROSCHEIT, SILKE HEINZ, FOLKERT ONKEN

### 1 Einleitung

In Bezug auf Maßnahmen zur Stärkung von Nachhaltigkeit, Klima- und Umweltschutz in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung spielen Milchrinderhaltung und -zucht eine wichtige Rolle. Als Wiederkäuer kann das Rind auch faserreiches, für die Humanernährung nicht nutzbares Pflanzenmaterial in hochwertiges Protein umwandeln. Bei der enterischen Fermentation entstehen jedoch relevante Mengen des stark klimawirksamen Treibhausgases Methan. Durch eine Reduzierung des Methaneintrages in die Atmosphäre sind positive Effekte im Sinne einer Verlangsamung der globalen Erwärmung zu erzielen (Mar et al. 2022). Kenntnisse über die Einflussfaktoren auf die Menge produzierten Methans sind daher wichtige Anknüpfungspunkte für effektive Klimaschutzmaßnahmen. Im Gegensatz zu möglichen züchterischen Ansätzen haben Fütterungsoptimierungen im milchproduzierenden Betrieb das Potenzial, bereits kurzfristig zu Emissionsminderungen und zur Ressourceneffizienz beizutragen (Knapp et al. 2014).

Die moderne Milchanalytik liefert differenzierte Informationen zur Milchezusammensetzung, lässt Rückschlüsse beispielsweise auf die Stoffwechsellage der Milchkuh zu und ermöglicht auch die Ermittlung von Methanmissionen und verschiedenen Effizienzparametern (Vanlierde et al. 2018). Ziel des Verbundprojektes „ReMissionDairy“ war, die Routineuntersuchungen von Milchproben als Informationsquelle für ein Fütterungscontrolling zu erschließen, das flächendeckend betriebliche Maßnahmen zur Stärkung von Nachhaltigkeit, Klimaverträglichkeit und Ressourcenschonung in der Milchproduktion unterstützt.

### 2 Von der Milchanalytik zur betriebsindividuell optimierten Fütterung

Um die Basis für Anwendungen zu schaffen, die künftig deutschlandweit über die bestehende leistungsstarke Infrastruktur des Milchrindersektors bereitgestellt werden können, wurden über einen Zeitraum von 24 Monaten Daten in insgesamt 29 Milchviehbetrieben erfasst. Über die in Niedersachsen, Sachsen, Mecklenburg-Vorpommern und Baden-Württemberg gelegenen Praxisbetriebe standen Daten von mehr als 14.000 Milchkuhen zur Verfügung.

Reguläre Milchkontrollen und erweiterte Milchgüteuntersuchungen lieferten die benötigten Daten aus der Milchanalytik. Aus mittels Mittelinfrarot(MIR)-Spektroskopie generierten Spektraldaten aus Einzeltiermilchproben sowie Milchfettsäuremustern aus Tankmilchproben wurden die Methanemission und verschiedene Effizienzparameter (u. a. Futterenergieeffizienz, Energiesaldo; Vanlierde et al. 2018) ermittelt. Im Projekt erfolgte in allen Betrieben eine systematische Dokumentation der Fütterung. Futtermitteluntersuchungen (Gesamtration, Haupttrationskomponenten) und Trockenmassebestimmungen wurden regelmäßig durchgeführt. Dabei sicherten die projektbeteiligten Landeskontrollverbände als regionale Ansprechpartner die kontinuierliche Betreuung der Landwirte und unterstützten diese bei der Datenerfassung. Das

interdisziplinäre Projektkonsortium gewährleistete zudem die Fütterungsberatung und Begleitung der im Projektverlauf betriebsindividuell optimierten Fütterungsstrategien.

Auswertungen umfassten Rationskalkulationen, die Ermittlung der Stickstoffeffizienz, Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen Fütterungsparametern und der Methanemission sowie Verlaufs- und Korrelationsanalysen zu Emissions-, Leistungs- und Effizienzparametern. Anhand der Praxisdaten ließen sich der hohe Stellenwert der Grundfutterqualität und das Potenzial einer betriebsindividuell optimierten Fütterung belegen, die die bedarfs- und wiederkäuergerechte Versorgung sichert und hohe Futterraufnahmen unterstützt. Die niedrigsten Methanintensitäten ergaben sich bei intensiven, leistungsbetonten Futterrationen. Darüber hinaus zeigten Varianz- und Verteilungsanalysen, dass sich auch innerhalb der Betriebe die Milchkühe in Abhängigkeit von der Milchleistung deutlich in Bezug auf die Menge an ausgeschiedenem Methan pro Produkteinheit Milch unterschieden (Tab. 1). Letztere nimmt mit steigender Milchleistung ab.

Tab. 1: Quartilsstatistik der Methanemissionen von Milchkühen nach Leistungsniveau innerhalb der Betriebe, gemessen an der Menge produzierter Standardmilch (ECM). Die Ermittlung der Methanemission erfolgte nach Vanlierde et al. (2018) anhand von 125.953 Ergebnissen von Einzeltier-Milchprobenuntersuchungen aus Milchkontrollen in 29 Betrieben im Zeitraum 2019 bis 2021.

Tiergruppe	Einheit	Mittelwert	Standardabweichung	5 %- Perzentil	95 %- Perzentil
Niedrige Milchleistung (ECM: untere 25 %)	g CH <sub>4</sub> d <sup>-1</sup>	399,0	47,3	319,1	466,0
	g CH <sub>4</sub> kg ECM <sup>-1</sup>	18,77	6,23	11,94	29,81
Mittlere Milchleistung (ECM: mittlere 50 %)	g CH <sub>4</sub> d <sup>-1</sup>	409,9	43,7	337,0	475,8
	g CH <sub>4</sub> kg ECM <sup>-1</sup>	12,45	2,38	8,92	16,73
Höhere Milchleistung (ECM: obere 25 %)	g CH <sub>4</sub> d <sup>-1</sup>	411,0	50,1	320,0	484,6
	g CH <sub>4</sub> kg ECM <sup>-1</sup>	9,19	1,67	6,56	12,06

ECM = energy-corrected milk

Digitale Berichte mit Emissions- und Effizienzkennzahlen werden über Web-Anwendungen den Landwirten bereitgestellt und ermöglichen eine Gesamteinordnung im regionalen Vergleich sowie ein differenziertes Monitoring (z. B. zeitlicher Verlauf, Tiergruppen nach Parität und Laktationsabschnitten). Der durch die Weiterentwicklung des bestehenden Berichtswesens erfolgende breite Praxistransfer der Projektergebnisse wird durch das im Projekt aufgebaute E-Learning begleitet und in Bezug auf die Ergebnisinterpretation und -nutzung unterstützt.

### 3 Fazit

Die Etablierung des Fütterungscontrollings auf Basis der Routinemilchanalytik kann Einsparpotenzial in Bezug auf Emissionen und eingesetzte Ressourcen im Milchsektor systematisch zu nutzen helfen. Zielkonflikte sind zu berücksichtigen (z. B. Nahrungskonkurrenz, Tiergesundheit, Nachhaltigkeit; Moraes et al. 2015), aber die Neuerungen bedeuten eine Befähigung der landwirtschaftlichen Praxis, Entscheidungen mit Blick auf eine effiziente, umwelt- und ressourcenschonende Milchproduktion zu treffen.

## Literatur

- Knapp, J.R.; Laur, G.L.; Vada, P.A.; Weiss, W.P.; Tricarico, J.M. (2014): Enteric methane in dairy cattle production: Quantifying the opportunities and impact of reducing emissions. *Journal of Dairy Science* 97(6), pp. 3231–3261, <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7234>
- Mar, K.A.; Unger, C.; Walderdorff, L.; Butler, T. (2022): Beyond CO<sub>2</sub> equivalence: The impacts of methane on climate, ecosystems, and health. *Environmental Science and Policy* 134, pp. 127–136, <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2022.03.027>
- Moraes, L.E.; Fadel, J.G.; Castillo, A.R.; Casper, D.P.; Tricarico, J.M.; Keebreab, E. (2015): Modeling the trade-off between diet costs and methane emissions: A goal programming approach. *Journal of Dairy Science* 98(8), pp. 5557–5571, <https://doi.org/10.3168/jds.2014-9138>
- Vanlierde, A. J.; Soyeurt, H.; Gengler, N.; Colinet, F.G.; Froidmont, E.; Kreuzer, M.; Grandl, F.; Bell, M.; Lund, P.; Olijhoek, D.W.; Eugène, M.; Martin, C.; Kuhla, M.; Dehareng, F. (2018): Development of an equation for estimating methane emissions of dairy cows from milk Fourier transform mid-infrared spectra by using reference data obtained exclusively from respiration chambers. *Journal of Dairy Science* 101(8), pp. 7618–7624, <https://doi.org/10.3168/jds.2018-14472>

## Förderhinweis

Die Förderung des Vorhabens „ReMissionDairy“ erfolgte aus Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) aufgrund eines Beschlusses des deutschen Bundestages. Die Projektträgerschaft erfolgte über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) im Rahmen des Programms zur Innovationsförderung.

# Ökobilanzierung der Wertschöpfungskette Schwein in Deutschland – Herangehensweise und Besonderheiten

NINA TREML, ANDREAS RUDI, FRANK SCHULTMANN

## 1 Einleitung

Die Herstellung von Fleischprodukten stellt unter Berücksichtigung aller damit verbundenen Prozesse eine enorme globale ökologische Herausforderung dar (Benton et al. 2021). Aus diesem Grund ist es entscheidend, die daraus resultierenden ökologischen Wirkungen zu untersuchen – im Speziellen die von Schweinefleisch, als meistkonsumierte Fleischsorte weltweit (Statista 2023a). Um die ökologischen Auswirkungen umfassend zu bewerten, ist es essenziell die gesamte Wertschöpfungskette, bestehend aus Tierhaltung, Schlachtung, Verarbeitung und Distribution, engmaschig abzubilden. Das Projekt „SPECK“ zielt darauf ab, diesen Aspekt zu adressieren, indem eine Ökobilanz von den verschiedenen Wertschöpfungsstufen der Schweinefleischproduktion in Deutschland – einem der führenden Schweinefleischproduzenten weltweit (Statista 2023b) – durchgeführt wird. In der folgenden Betrachtung wird die ökologische Bewertung der Wertschöpfungskette Schwein modellhaft dargestellt. Hierbei werden auf Grundlage der Fallstudienauswertung im Rahmen des Projektes Basis-Systemgrenzen eingeführt. Die Schweinefleischwertschöpfungskette ist in die zuvor genannten vier Glieder aufteilbar, wobei die Schlachtung, Verarbeitung sowie Vermarktung im Lebensmitteleinzelhandel hier außen vorgelassen werden.

## 2 Methodik und Herangehensweise

In Anbetracht ökologischer Bewertungsverfahren wird der Ökobilanzierungsansatz zunehmend genutzt, um ökologische Wirkungen von Produktionsprozessen zu identifizieren und zu quantifizieren. Aufgrund dieser Akzeptanz und Nachvollziehbarkeit ist die Wahl auf diese Methode gefallen, um die Wertschöpfungskette Schwein ökologisch zu bewerten.

Eine Ökobilanz besteht aus vier aufeinander aufbauenden Phasen (DIN 14040 2009). Die erste Phase umfasst die Definition eines Ziels und des Untersuchungsrahmens der Studie, was insbesondere die Systemgrenzendefinition einschließt und die Grundlage für die Ökobilanz bildet. Die Aufteilung in Glieder oder auch Betriebe vereinfacht die Definition der Systemgrenzen, die Datenerfassung und die Implementierung der Ökobilanz. Die Entwicklung der Systemgrenzen (Abb. 1) offenbart, dass Zucht- und Mastbetriebe im Aufbau nur bei Betrachtung der tierischen Produktionsfaktoren Unterschiede aufweisen, welche für die Rahmendefinition einer Ökobilanz nicht relevant sind – die funktionelle Einheit bleibt gleich. Die Zucht- beziehungsweise Masttierhaltung kann unter Tierhaltung zusammengefasst werden. Eine Aufteilung der Sachbilanzdaten auf die unterschiedlichen, gezielt erzüchteten Tiere kann aufgrund der Schwierigkeit der Bemessung auf Betriebsebene nicht vorgenommen werden. Die Darstellung (Abb. 1) umfasst die Futterherstellung, die Tierhaltung, eine im Projekt „SPECK“ identifizierte Eigenerzeugung von Elektrizität und Wärme mithilfe einer betriebseigenen Biogasanlage mit angeschlossenen Blockheizkraftwerk (BHKW) (siehe mit 1 markierte Bestandteile) und die ausgehenden Produkte. Eine anderweitige Nutzung der Gülle (z.B. Ausbringung) kann ohne viel Aufwand modelliert werden (siehe mit 2 markierte Bestandteile).

Die Bilanzierung wird, wie in der Literatur abgebildet, auf 1 kg Schweineerzeugnis bezogen – dies kann Lebendgewicht, Schlachtgewicht oder verarbeitetes Produkt sein (Basset-Mens and van der Werf 2005, Bava et al. 2017, Reckmann et al. 2013, Zira et al. 2021). Die Systemgrenzendefinition und Datenerhebung kann auf Grundlage der dargestellten einheitlichen Darstellung immer an den jeweiligen Anwendungsfall angepasst werden. Die Wirkungsabschätzungsphase sowie anschließende Auswertung sind wiederum kongruent durchführbar, ohne speziellen Bezug zum betrachteten Wertschöpfungskettenglied. Diese Tatsache unterstützt die Möglichkeit, die Wertschöpfungskette gesamtheitlich zu bewerten, da die Berechnungsphase übergreifend wenig verändert durchgeführt werden kann.

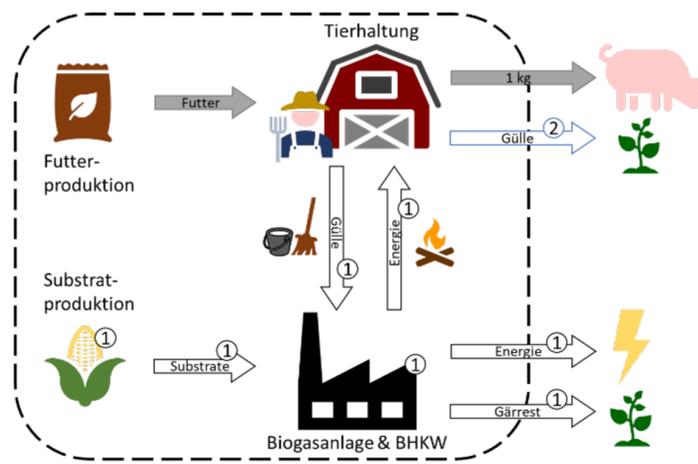


Abb. 1: Konzeptionsgrundlage Systemgrenzen Tierhaltung Schwein Deutschland (© N. Treml)

Im Folgenden werden die Phasen und die für die Wertschöpfungskette Schwein zu berücksichtigenden Spezifikationen aufgelistet:

### Ziel und Untersuchungsrahmen

- Definition von Systemgrenzen
- Identifikation und Visualisierung der ökologischen Einflüsse des Prozesses
- Bestimmung der einflussreichsten Auswirkungen

### Funktionelle Einheit

- 1 kg Produktgewicht
- konsistent mit Literatur (Basset-Mens and van der Werf 2005, Bava et al. 2017, Reckmann et al. 2013, Zira et al. 2021)

### Sachbilanz

- Produktflüsse
- Hilfsstoffe: Energie, Wasser usw.
- Prozesse: Produktionsprozess, Energie- und Wärmeproduktion
- Schlüsselaspekte: Futterherstellung, Energiebereitstellung, Abfallbehandlung

### Wirkungsabschätzung

Kongruent mit der Literatur wurden drei Wirkungskategorien ausgewählt: Klimawandel, Versauerung und Eutrophierung (Basset-Mens and van der Werf 2005, Bava et al. 2017, Reckmann et al. 2013, Zira et al. 2021).

### 3 Fallstudie

Die Fallstudie ist unter den eingeführten Systemgrenzen für einen Schweinemastbetrieb durchgeführt worden. Grundlage hierfür waren die eingeführten Systemgrenzen (Abb. 1) unter Modellierung der Option 1 hinsichtlich der Verwertung der Gülle. In Abbildung 2 sind die Einflüsse der Wirkungskategorie Klimawandel der berechneten Ökobilanz abgebildet. Deutlich wird, dass die Futterproduktion für einen Großteil der Emissionen verantwortlich ist. Den zweitgrößten Einfluss stellt die energetische Verwertung der Gülle dar, welche wie abgebildet (Abb. 3) den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck ambivalent beeinflusst.

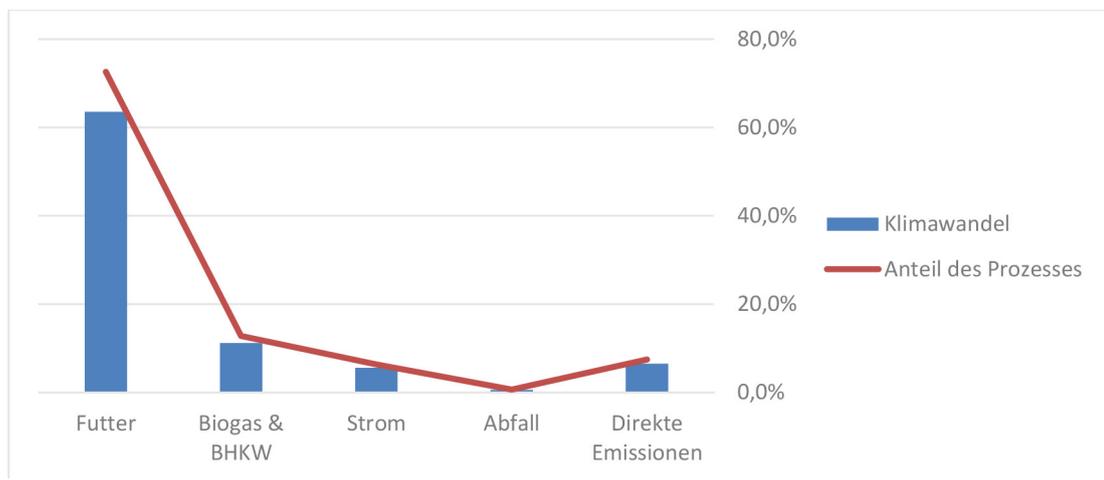


Abb. 2: Aufteilung CO<sub>2</sub>-Fußabdruck auf Betriebsprozesse des Schweinemastbetriebes (© N. Treml)



Abb. 3: Einfluss der Biogasanlage sowie energetischen Verwertung des Gases im BHKW auf den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck (© N. Treml)

## 4 Fazit

Mit der Fallstudienauswertung im Projekt „SPECK“ sind wiederkehrende Muster identifiziert und der Betriebsaufbau je Wertschöpfungskettenglied stilisiert abgebildet worden. Diese abstrahierende Bottom-up-Betrachtung kann zukünftig die ökologische Bewertung von insbesondere schweinehaltenden Betrieben und den hierauf folgenden Wertschöpfungskettengliedern vereinfachen.

## Literatur

- Basset-Mens, C.; van der Werf, H.M. (2005): Scenario-based environmental assessment of farming systems: the case of pig production in France. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 105(1-2), pp. 127–144, doi: 10.1016/j.agee.2004.05.007
- Bava, L. et al. (2017): Environmental impact of the typical heavy pig production in Italy. *Journal of Cleaner Production* 140(2), <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.11.029>
- Benton, T.G. et al. (2021): Food system impacts on biodiversity loss: Three levers for food system transformation in support of nature. London, [https://www.chathamhouse.org/sites/default/files/2021-02/2021-02-03-food-system-biodiversity-loss-benton-et-al\\_0.pdf](https://www.chathamhouse.org/sites/default/files/2021-02/2021-02-03-food-system-biodiversity-loss-benton-et-al_0.pdf), Zugriff am 09.05.2023
- DIN 14040 (2009): Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen. EN ISO 14040:2006, Berlin, Beuth Verlag
- Reckmann, K.; Traulsen, I.; Krieter, J. (2013): Life Cycle Assessment of pork production: A data inventory for the case of Germany. *Livestock Science* 157(2-3), pp. 586–596, doi: 10.1016/j.livsci.2013.09.001
- Statista (2023a): Fleischkonsum weltweit nach Fleischart bis 2023. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/296612/umfrage/konsum-von-fleisch-weltweit-nach-fleischart/>, Zugriff am 28.04.2023
- Statista (2023b): Schweinebestand in Deutschland bis 2022. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/163424/umfrage/entwicklung-des-schweinebestands-in-deutschland/>, Zugriff am 23.08.2023
- Zira, S. et al. (2021): A life cycle sustainability assessment of organic and conventional pork supply chains in Sweden. *Sustainable Production and Consumption* 28, pp. 21–38, doi: 10.1016/j.spc.2021.03.028

## Förderhinweis

Unterstützt vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL).  
Gefördert von der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE).

## Nutztier-Umwelt-Interaktion in natürlich belüfteten Ställen am Beispiel von Ammoniak

HUYEN VU, MOUSTAPHA DOUMBIA, QIANYING YI, THOMAS AMON, DAVID JANKE, SABRINA HEMPEL

### 1 Einleitung

Ammoniakemissionen verursachen große Stickstoffeinträge in Böden, Wasser und Vegetation, was zu Eutrophierung und Versauerung führt. Die potenziellen chemischen Reaktionsprodukte des kurzlebigen Ammoniaks wirken sich auf das Klimasystem aus und gefährden die Gesundheit von Tieren und Menschen. Ammoniak ist beispielsweise eine bedeutende Quelle indirekter Lachgasemissionen und auch eine Quelle der sekundären anorganischen Aerosole (SIA) Ammoniumsulfat und Ammoniumnitrat, die als Feinstaub in der Atmosphäre vorkommen.

Mehr als 90 % des emittierten Ammoniaks stehen im Zusammenhang mit der Landwirtschaft, die Hälfte davon mit der Viehhaltung (insbesondere Milchviehhaltung). Ohne eine Anpassung der Haltung werden durch den Klimawandel am Ende dieses Jahrhunderts voraussichtlich mehrere Tausend Tonnen Ammoniak zusätzlich aus der Nutztierhaltung freigesetzt. Es gibt große Unterschiede in der Emissionsrate zwischen einzelnen Betrieben, die bisher nicht vollständig verstanden sind. Einer der Gründe ist die komplexe Wechselwirkung zwischen Außenklima, Innenmikroklima sowie der Stärke der Emissionsquelle und der Gasverdünnung.

Wir nutzen strömungsdynamische und reaktionskinetische Modelle, um diese Komplexität in frei belüfteten Tierställen besser zu verstehen. Diese Grundlagenstudie wird weiter genutzt, um die Vorhersage von Emissionswerten zu verbessern, Überwachungssysteme zu optimieren und Emissionsminderungspotenziale zu identifizieren und zu bewerten.

### 2 Modellkopplung – Potenziale und Herausforderungen

Die Stärke der Emission einer Urinpfüte hängt von der TAN-Konzentration ab. Wichtige Einflussfaktoren sind die Oberfläche, die Temperatur und der pH-Wert der Flüssigkeit sowie die Windgeschwindigkeit an der Oberfläche. Die zeitliche Änderung der TAN-Konzentration hängt stark mit der Änderung der Harnstoffkonzentration zusammen und kann mathematisch durch ein System zweier gekoppelter Differenzialgleichungen beschrieben werden.

Wir schätzen die Flüssigkeitstemperatur zu einem bestimmten Zeitpunkt nach dem Uriniervorgang anhand der Umgebungstemperatur unter Verwendung des Newtonschen Abkühlungsgesetzes. Die Oberflächenwindgeschwindigkeit für eine gegebene Außenwindgeschwindigkeit haben wir aus numerischen Simulationen der strömungsdynamischen Prozesse abgeleitet. Dies basiert auf Reynolds-gemittelten Navier-Stokes-Simulationen (RANS) für verschiedene Randbedingungen. Der Stall wurde in vier Bereiche unterteilt. Für jedes dieser Abteile wurde eine mittlere Oberflächenwindgeschwindigkeit bestimmt (Hempel 2022). Für die Änderung des pH-Werts haben wir unterschiedliche zeitliche Verläufe angenommen und den Einfluss auf die Ammoniakemissionswerte über ein Jahr simuliert. Die Änderung des pH-Werts im Laufe der Zeit wurde zunächst als Überlagerung zweier Exponentialterme modelliert (Snoek 2016):



### 3 Fazit

Es besteht ein großes Potenzial für die Kopplung (semi-)mechanistischer Modellierungsansätze, um die Ammoniakemissionsdynamik von Nutztierställen mithilfe leicht zugänglicher Eingabedaten zu projizieren. Die Abweichungen zwischen unserem modellierten und dem gemessenen Durchschnittsemissionswert lagen in der gleichen Größenordnung wie die Abweichung zwischen den Emissionswerten, die durch verschiedene Ansätze der Gaskonzentrationsbilanzierung ermittelt wurden. Die pH-Dynamik von Urinpfützen zeigte die beste Übereinstimmung mit einer doppelt exponentiell ansteigenden Funktion und exponentiellem Abfall nach 4 Stunden.

### Literatur

- Behera, S.N.; Sharma, M. (2011): Degradation of SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> and NH<sub>3</sub> leading to formation of secondary inorganic aerosols: An environmental chamber study. *Atmospheric Environment* 45(24), pp. 4015–4024, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.04.056>
- Hempel, S.; Ouatahar, L.; Janke, D.; Amon, T. (2022): A nested semi-mechanistic model to predict the temporal dynamics of ammonia emissions from a solid floor naturally ventilated dairy cattle building. In: *International Conference on Agricultural Engineering*, November 22nd and 23rd 2022, Berlin, pp. 197–202
- Snoek, D.J.; Ogink, N.W.; Stigter, J.D.; Van de Weijer, T.M.; Koerkamp, P.W.G. et al. (2016): Dynamic behavior of PH in fresh urine puddles of dairy cows. *Transactions of the ASABE (American Society of Agricultural and Biological Engineers)* 59(5), pp. 1403–1411, DOI:10.13031/trans.59.11750

## NH<sub>3</sub>-Konzentrationen in unterschiedlichen Messhöhen am Beispiel freigelüfteter Putenställe

DANIEL WERNER, BIRGIT SPINDLER, MARIE KRAMER, PIA NIEWIND, SILJA DENNIER, ANDREAS NAUBER, TIM BLÖCKER, MARKUS BÖCKELMANN, NICOLE KEMPER UND JOCHEN SCHULZ

### 1 Einleitung

Bei der Haltung von Puten ist ein maximaler Ammoniak(NH<sub>3</sub>)-Gehalt der Stallluft von unter 10 ppm anzustreben, 20 ppm dürfen nicht dauerhaft überschritten werden. Zur Bewertung dieser Grenzwerte soll in Kopfhöhe der Tiere gemessen werden (ZDG 2013).

Die dargestellten Untersuchungen wurden durchgeführt, um zu ermitteln, wie gut eine praxistaugliche und kontinuierliche Messung auch außerhalb der Reichweite der Tiere durchzuführen ist und welche Abweichungen hierbei zu erwarten sind.

### 2 Tiere, Material und Methoden

Die Untersuchungen wurden auf einem Praxisbetrieb des durch das BMEL geförderten MuD-Tierschutzprojekts „#Pute@Praxis“ durchgeführt. Zur Verfügung standen zwei baugleiche Ställe (Klappenstall, freie Lüftung, je 5.400 Haltungsplätze) mit kabellosen, kontinuierlich messenden Systemen (Dräger X-node, Lübeck) an je zwei Messorten im Stall (vorderer sowie hinterer Stallbereich).

Je Messort wurde ein Messsystem auf Tierhöhe (ca. 0,3 bis 0,5 m Höhe) sowie ein System vertikal darüber (ca. 1,7 m Höhe) angebracht. Die Messungen erfolgten kontinuierlich über zwei Mastdurchgänge von 16 Wochen (Sommer- sowie Winterdurchgang).



Abb. 1: Darstellung der Positionierung der Messsysteme in unterschiedlichen Messhöhen an einem Messort (© D. Werner)



Abb. 2: Darstellung des Schutzes der Messsysteme auf Tierhöhe (© D. Werner)

### 3 Ergebnisse

Gemessen wurden  $\text{NH}_3$ -Konzentrationen zwischen 6,3 ppm (arithmetischer Mittelwert Sommerdurchgang, Stall 1) und 8,9 ppm (arithmetischer Mittelwert Winterdurchgang, Stall 2). Dabei lagen die  $\text{NH}_3$ -Konzentrationen im Winterdurchgang in beiden Ställen über den Werten des Sommerdurchgangs. Im 24-h-Verlauf waren die gemessenen Werte in der Dunkelphase oftmals höher als in der Hellphase.

Bei zeitgleicher Erfassung von  $\text{NH}_3$  am selben Messort in unterschiedlicher Höhe zeigten sich Abweichungen von durchschnittlich 13 % (Stall 1) und 20 % (Stall 2), wobei die gemessenen Konzentrationen des unteren Sensors mehrheitlich höher waren. Diese Unterschiede waren in der Hellphase im Schnitt deutlich höher als in der Dunkelphase. Bei besonderen Ereignissen (z. B. Fräsen der Einstreu) wurden auch Werte oberhalb des Grenzwerts (20 ppm) gemessen.

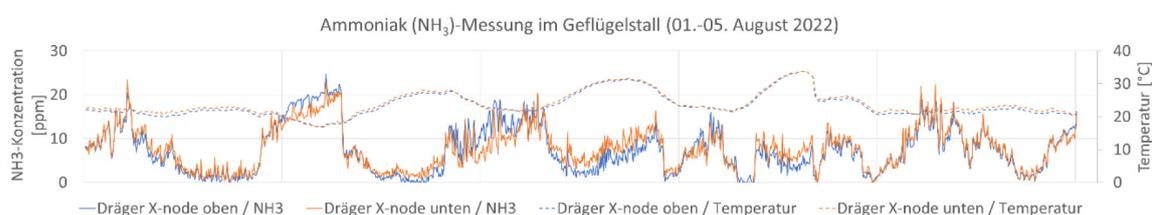


Abb. 3: Darstellung der in unterschiedlichen Messhöhen erfassten  $\text{NH}_3$ -Konzentrationen und Temperaturen im Verlauf von fünf ausgewählten Tagen (© D. Werner)

### 4 Fazit

Die Ergebnisse zeigen, dass bei einer praxisüblichen Messung außerhalb des Tierbereichs, auf Kopfhöhe des Menschen, durchschnittliche Abweichungen von 20 % und mehr entstehen können. Bauliche Maßnahmen und Hindernisse, die die Lüftung im Stall beeinflussen (z. B. Ringaufzucht, Strukturelemente) können diese Abweichungen erhöhen.

Des Weiteren konnte gezeigt werden, dass zur Sicherstellung eines adäquaten Stallklimas eine kontinuierliche Überwachung der  $\text{NH}_3$ -Konzentration im Stall unabdingbar ist, u. a. auch, um überhaupt Risikoziträume zu erkennen. Besonders in kritischen Zeiträumen konnte nicht ausgeschlossen werden, dass es zu  $\text{NH}_3$ -Konzentrationen über 20 ppm kommt.

Die hier geprüften höhenabhängigen Unterschiede lagen in einem zu tolerierenden Bereich, sodass die Positionierung der Systeme im Tierbereich, aber gerade außerhalb der Reichweite der Tiere, eine durchaus praktikable Alternative unter den hier geprüften Praxisbedingungen darstellt.

### Literatur

ZDG (2013): Bundeseinheitliche Eckwerte für eine freiwillige Vereinbarung zur Haltung von Mastputen. [https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/\\_Tiere/Tierschutz/ZDG-Eckwerte-Haltung-Mastputen.html](https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Tiere/Tierschutz/ZDG-Eckwerte-Haltung-Mastputen.html), Zugriff am 16.08.2023

# Gülleabkühlung und Güllekanalverkleinerung als Maßnahme zur Minderung von Ammoniakemissionen in zwangsgelüfteten Mastschweineeställen

LILLY WOKEL, EVA GALLMANN

## 1 Einleitung

Um die in der NERC-Richtlinie vereinbarten Verpflichtungen zur Ammoniakemissionsreduktion für Deutschland zu erreichen, wird in der Neufassung der TA Luft (2021) die Umsetzung von verfahrensintegrierten technischen Minderungsmaßnahmen im Stall geregelt.

Für zwangsgelüftete Mastschweineeställe kommen unter anderem die Kühlung der Gülle sowie eine Verkleinerung der Güllekanäle und damit der emittierenden Oberfläche infrage. Im Verbundvorhaben „EmiMin“ (Emissionsminderung Nutztierhaltung) wird das Minderungspotenzial dieser, im BVT-Merkblatt gelisteter, Maßnahmen auf die Ammoniakemissionen untersucht.

## 2 Vorgehensweise

Die Minderungsmaßnahmen Gülleabkühlung und Güllekanalverkleinerung wurden als Einzelmaßnahmen im Case-Control-Ansatz an jeweils zwei Standorten getestet. Grundlage für das Versuchsdesign war das international abgestimmte VERA-Messprotokoll (VERA 2018). Pro Standort wurde die Gülleabkühlung bzw. die Kanalverkleinerung in einem Mastabteil installiert (case). Ein baulich gleiches zweites Mastabteil ohne Minderungsmaßnahme diente als Referenz (control).

Zur Kühlung der Gülle wurden schwimmende Lamellen in den Güllekanal des Versuchsabteils eingesetzt. Mittels einer Wärmepumpe zirkulierte kaltes Wasser durch die Lamellen und reduzierte aktiv die Gülletemperatur (Zieltemperatur < 15 °C). Im Referenzabteil wurden keine Kühlelemente installiert. Bei der Güllekanalverkleinerung unterschieden sich Versuchs- und Referenzabteil in der Gestaltung der Kanäle unterhalb der Spalten. Im Versuchsabteil wurden V-förmige Wannen eingesetzt und im Referenzabteil die herkömmlichen Güllekanäle belassen. Die teilperforierte Aufstallung mit einem planbefestigten Liegebereich wurde in beiden Abteilen gleich gestaltet (Abb. 1).

Ein akkreditiertes Messinstitut führte von 2019 bis Anfang 2021 Emissionsmessung durch. An allen Standorten wurden die Gaskonzentrationen beider Abteile zwei bis fünf Mal in der Stunde erfasst. Die Emissionen wurden daraus als Stundenmittelwerte berechnet. Je Minderungsmaßnahme und Standort wurde die Durchführung von sechs Messzeiträumen mit einer Mindestmessdauer von jeweils einer Woche angestrebt. Die Verteilung der Zeiträume erfolgte über verschiedene Jahreszeiten und Mastphasen. In regelmäßigen Intervallen wurden u. a. Klima- und Tierdaten sowie verschiedene Gülleparameter erfasst.

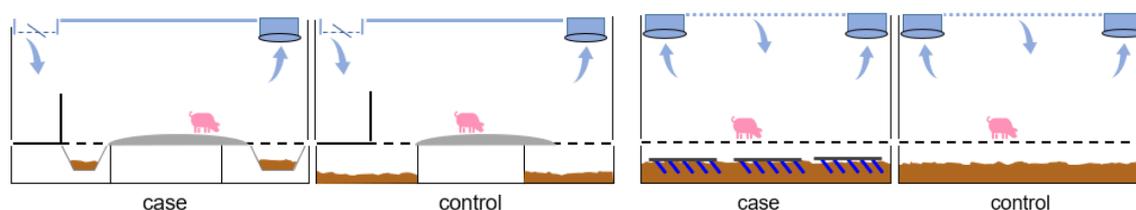


Abb. 1: Schematische Darstellung des Case-Control-Versuchsdesigns: Güllekanalverkleinerung (links), Güllekühlung (rechts) (© L. Wokel)

### 3 Vorläufige Ergebnisse

Die Emissionsmessungen wurden für beide Maßnahmen abgeschlossen und pro Standort mindestens sechs Messzeiträume realisiert. Tabelle 1 zeigt die Verteilung der Messtage in unterschiedlichen Außentemperatur- und Gewichtsklassen. Die jeweils im Versuchs- und Referenzabteil erfassten Tier- und Klimadaten liegen auf einem vergleichbaren Niveau.

Tab. 1: Anzahl erfolgreicher 24-Stunden-Messtage pro Minderungstechnik, verteilt auf verschiedene Außentemperatur- und Gewichtsklassen

		Anzahl 24-h-Messtage	
		Güllekühlung	Kanalverkleinerung
Temperatur- klassen	≤ 5 °C (Winter)	25	42
	> 5–15 °C (Übergang)	97	90
	> 15 °C (Sommer)	39	78
Gewichts- klassen	≤ 50 kg/Tier	18	53
	> 50–85 kg/Tier	125	144
	> 85 kg/Tier	18	13

Durch die Güllekühlung konnte die Zieltemperatur in der Gülle erreicht und im Mittel beider Standorte die Temperatur um ca. 7 Kelvin im Vergleich zum Referenzabteil abgesenkt werden. Die Reduktion der mittleren Ammoniakemissionen ( $\text{g NH}_3/\text{d}/\text{GV}$ ) im Versuchsabteil verglichen zum Kontrollabteil beider Standorte, bewegte sich zwischen ca. 40 und 60 %.

Im Versuchsabteil mit verkleinerten Güllekanälen lagen die mittleren Ammoniakemissionen ( $\text{g NH}_3/\text{d}/\text{GV}$ ) beider Standorte im Mittel aller Messzeiträume ca. 10 bis 55 % unterhalb der Ammoniakemissionen im Kontrollabteil mit herkömmlichen Kanälen. Je nach Mastphase, Temperatur, Emissionsniveau im Referenzabteil und weiterer Einflussgrößen variiert die Größenordnung der Minderung.

Die Ergebnisse sind vorläufig und beziehen sich nur auf die untersuchten Standorte und Zeiträume. Sie geben noch kein pauschales, dauerhaftes Minderungspotenzial für die Maßnahmen Güllekühlung und Kanalverkleinerung an, wie es in der TA Luft beschrieben wird. Hierfür sind weitere deskriptive und explorative statistische Auswertungen durchzuführen.

## 4 Fazit

Mit den zwei untersuchten Maßnahmen ist eine Reduktion der Ammoniakemissionen in zwangsgelüfteten Mastschweinställen möglich. Der Erfolg der praktischen Umsetzung und die tatsächlich realisierte Minderungsleistung sind u. a. abhängig vom Haltungs-, Fütterungs-, Lüftungs- und Entmistungsmanagement und der technischen sowie baulichen Gestaltung.

## Literatur

TA Luft (2021): Neufassung der Ersten Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft) vom 18.08.2021. GMBI 2021 Nr. 48–54, S. 1050

VERA (2018): VERA Test Protocol for Livestock Housing and Management Systems. Version 3:2018-09, International VERA Secretariat

## Förderhinweis

Die Förderung des Projektes „EmiMin“ erfolgte aus Mitteln des Zweckvermögens des Bundes bei der Landwirtschaftlichen Rentenbank.

# Güllekanalverkleinerung in Kombination mit einem Fütterungs- und Gülleadditiv zur Minderung von Ammoniakemissionen in zwangsgelüfteten Mastschweinställen

LILLY WOKEL, EVA GALLMANN

## 1 Einleitung

In zwangsgelüfteten Mastschweinställen kann die Reduktion der emittierenden Oberflächen, z.B. durch eine Verkleinerung der Güllekanäle, zu geringeren Ammoniakemissionen führen. Diese Maßnahme wird in der Neufassung der TA Luft (2021) als verfahrensintegrierte technische Minderungsmaßnahme beschrieben. Additive, sowohl in der Fütterung als auch direkt in der Gülle eingesetzt, haben bei geringerem baulichem Aufwand ebenfalls das Potenzial Ammoniakemissionen zu reduzieren (Samer et al. 2019, Humphrey et al. 2022). Dies erfolgt z. B. durch ein Absenken des pH-Wertes im Urin und/oder in der Gülle.

Ziel der zweiten Phase des Verbundprojektes „EmiMin“ (Emissionsminderung Nutztierhaltung) war es, das Potenzial von Molke als Gülle- und Benzoesäure als Futterzusatz zur Minderung von Ammoniakemissionen zu untersuchen. Die Additive wurden sowohl in Kombination mit der Güllekanalverkleinerung als auch als Einzelmaßnahme eingesetzt.

## 2 Vorgehensweise

Die emissionsmindernde Wirkung der Güllekanalverkleinerung wurde in der ersten Projektphase an zwei Standorten jeweils im Case-Control-Ansatz bewertet. Im Versuchsabteil wurden V-förmige Wannen in den Güllekanal eingesetzt und im Referenzabteil die herkömmlichen Kanäle belassen. Beide Abteile haben eine teilperforierte Aufstallung (Abb. 1).

Zur Untersuchung der Additive wurden von einem akkreditierten Messinstitut weitere Emissionsmessungen in denselben Abteilen durchgeführt. Sechs Messzeiträume je Standort wurden mit je zwei Zeiträumen auf drei Mastdurchgänge aufgeteilt. Während eines Mastdurchgangs erfolgte der (zeitweise) Einsatz von Molke auf den Spalten im Kotbereich, mit einer Aufwandmenge von ca. 10 % des durchschnittlichen täglichen Gülleanfalls (Abb. 1). Die Benzoesäure wurde durchgehend mit 1 % in einem Mastdurchgang mit Standard-3-Phasen-Fütterung und durchgehend in einem Mastdurchgang mit sehr stark N-/P-reduzierter Fütterung zugesetzt. Die Additivzugabe erfolgte im Versuchs- und Referenzabteil parallel mit gleicher Aufwandmenge. Die Ammoniakemissionen werden als Stundenmittelwert angegeben, berechnet aus den mehrmals stündlich in der Frisch- und Abluft gemessenen Gaskonzentrationen und kontinuierlichen Volumenstromdaten. Neben Tier- und Klimadaten wurden als Begleitdaten u. a. pH-Werte im Urin und in der Gülle in unterschiedlichen Intervallen erfasst.



Abb. 1: Teilspaltenbucht zweite Phase (links), Molkeapplikation mit Gießkanne (rechts) (© L. Wokel)

### 3 Vorläufige Ergebnisse

Tabelle 1 zeigt die Anzahl vollständiger Messtage pro Variante (Milch, Benzoesäure, Benzoesäure + N-/P-Reduktion), aufgeteilt in Außentemperatur- und Gewichtsklassen. Da je Variante und Standort nur zwei Messperioden erfolgten, konnten die verschiedenen Temperaturbedingungen und Gewichtsabschnitte nicht vollständig abgedeckt werden.

Tab. 1: Anzahl erfolgreicher 24-Stunden-Messtage pro Variante, verteilt auf verschiedene Gewichts- und Außentemperaturklassen

		Anzahl 24-h-Messtage		
		Milch	Benzoesäure	Benzoesäure + N-/P-Reduktion
Temperaturklassen	≤ 5 °C (Winter)	83	10	0
	> 5–15 °C (Übergang)	21	38	35
	> 15 °C (Sommer)	0	24	72
Gewichtsklassen	≤ 50 kg/Tier	12	17	6
	> 50–85 kg/Tier	44	36	56
	> 85 kg/Tier	48	19	45

Während der Fütterung von Benzoesäure zeigten die Ergebnisse der sporadisch gezogenen Urinproben einen mittleren pH-Wert von ca. 6 ( $n = 324$ ). Der mittlere pH-Wert der Urinproben von Tieren mit Standardfutter ohne Benzoesäure lag bei 8 ( $n = 60$ ). Weitere Hinweise auf eine Emissionsminderung von Ammoniak gibt der unter Vorbehalt durchgeführte Vergleich mit den Messergebnissen aus der ersten Phase im Sinne eines Case-Control-in-time-Ansatzes. Das Niveau der mittleren Ammoniakemissionen ( $\text{g NH}_3/\text{d/GV}$ ) aus den Referenzabteilungen mit Additiven liegt erkennbar niedriger als in der ersten Phase ohne Minderungsmaßnahme. In den Abteilungen mit Güllekanalverkleinerung und Additiven wurden noch geringere Ammoniakemissionen gemessen. Der Einsatz von Benzoesäure über das Futter scheint einen größeren Minderungseffekt zu haben als die Milchapplikation auf die Gülle.

## 4 Fazit

PH-Wert senkende Additive wie Molke und Benzoesäure haben das Potenzial die Ammoniakemissionen in zwangsgelüfteten Mastschweinställen zu reduzieren. Im Vergleich zu baulich-technischen Maßnahmen ist der Einsatz dieser flexibel und einfach. Um das Minderungspotenzial der Additive abschließend zu bewerten, werden weitere Messungen empfohlen.

## Literatur

Humphrey, D. C.; Bergstrom, J. R.; Pérez Calvo, E.; Trabue, S. L.; Scoggin, K. D.; Greiner, L. L. (2022): The effect of benzoic acid with or without a direct-fed microbial on the nutrient metabolism and gas emissions of growing pigs. *Journal of Animal Science* 100, pp. 1–11, DOI: 10.1093/jas/skac296

Samer, M.; Hijazi, O.; Abdelsalam, E.; Wiecha, J. G.; Ziegler, K. L.; Bernhardt, H. (2019): Manure treatment with acidic liquid biowastes for reducing greenhouse gases and ammonia emissions. *ASABE Annual International Meeting* 1900100, DOI: 10.13031/aim.201900100

TA Luft (2021): Neufassung der Ersten Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft) vom 18.08.2021. *GMBI* 2021 Nr. 48–54, S. 1050

## Förderhinweis

Die Förderung des Projektes „EmiMin“ erfolgte aus Mitteln des Zweckvermögens des Bundes bei der Landwirtschaftlichen Rentenbank.

## Mitwirkende

### Dr. Christian Ammon

Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e.V.  
Potsdam

### Prof. Dr. Barbara Amon

Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e.V.  
Potsdam

### Univ.-Prof. Dr. Thomas Amon

Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e.V.  
Potsdam  
Freie Universität Berlin  
Berlin

### Kilian Appert

Landwirtschaftliches Bildungs- und Beratungszentrum  
Arenenberg  
Salenstein (Schweiz)

### Christian Auinger

Schauer Agrotecnic  
Prambachkirchen (Österreich)

### Frederike Balzer

Umweltbundesamt  
Dessau

### Lukas Bayer

Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V.  
Müncheberg

### Franziska Becker

INL - Privates Institut für Nachhaltige Landbewirtschaftung GmbH  
Halle/ Saale

### Dr. Anne Biewald

Umweltbundesamt  
Dessau

### Tim Blöcker

Dräger Safety AG & Co. KGaA  
Bordesholm

### Dr. Markus Böckelmann

Münster

### Lars Broer

LUFA Nord-West  
Oldenburg

### Wibke Broscheit

agrosom GmbH  
Mölln

### Markus Bucheli

Berufsbildungszentrum Natur und Ernährung  
Hohenrain (Schweiz)

### Prof. Dr. Wolfgang Büscher

Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn  
Bonn

### Franziska Christ

Kuratorium für Technik und Bauwesen  
in der Landwirtschaft e.V.  
Darmstadt

### Dr. Marcus Clauß

Thünen-Institut für Agrartechnologie  
Braunschweig

### Dr. Joachim Clemens

SF-SoepenberG GmbH  
Hünxe

### Dr. Claus Deblitz

Thünen-Institut für Betriebswirtschaft  
Braunschweig

### Hauke F. Deeken

Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn  
Bonn

### Gianna Dehler

Kuratorium für Technik und Bauwesen  
in der Landwirtschaft e.V.  
Darmstadt

### Silja Dennier

Drägerwerk AG & Co. KGaA  
Lübeck

### Helmut Georg Döhler

DöhlerAgrar  
Untermerzsbach

### El Hadj Moustapha Dombia

Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e.V.  
Potsdam

### Nele Dreisbach

Umweltbundesamt  
Dessau

### Caroline Dreyer

Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei  
Dummerstorf

### Dr. Julia Drews

Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei  
Dummerstorf

### Nick Dühr

Umweltbundesamt  
Dessau

**Dr. Veronika Ebertz**  
Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn  
Bonn

**Stephan Ebsche**  
fodjan GmbH  
Dresden

**Annika Ehmke**  
Julius Kühn-Institut  
Braunschweig

**Josefine Eisermann**  
Friedrich-Loeffler-Institut  
Celle

**Dr. Thomas Ettle**  
Landesanstalt für Landwirtschaft  
Grub/Poing

**Dr. Brigitte Eurich-Menden**  
Kuratorium für Technik und Bauwesen  
in der Landwirtschaft e.V.  
Darmstadt

**Michel Fischler**  
mf k&tp  
Zürich (Schweiz)

**apl. Prof. Dr. Eva Gallmann**  
Universität Hohenheim  
Stuttgart

**Dr. Anne Haberland Pimentel**  
Landeskuratorium der Erzeugerringe für tierische  
Veredelung in Bayern e.V.  
München

**Dr. Frauke Hagenkamp-Korth**  
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel  
Kiel

**Julian Hartje**  
Thünen-Institut für Agrartechnologie  
Braunschweig

**Prof. Dr. Eberhard Hartung**  
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel  
Kiel

**Dr. Silke Heinz**  
Milchkontroll- und Rinderzuchtverband e.G.  
Güstrow

**Dr. Sabrina Hempel**  
Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e.V.  
Potsdam

**Luzie Hentschel**  
Sächsischer Landeskontrollverband e.V.  
Niederwiesa/OT Lichtenwalde

**Dr. Richard Hölscher**  
Hölscher + Leuschner GmbH & Co. KG  
Emsbüren

**Dr. Dieter Horlacher**  
Kuratorium für Technik und Bauwesen  
in der Landwirtschaft e.V.  
Darmstadt

**Veronika Huber**  
Landesanstalt für Landwirtschaft  
Grub/Poing

**Dr.-Ing. David Janke**  
Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e.V.  
Potsdam

**Prof. Dr. Martin Kaupenjohann**  
Technische Universität Berlin  
Berlin

**Prof. Dr. Nicole Kemper**  
Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover  
Hannover

**Dr. Ralf Kosch**  
LUFÄ Nord-West  
Oldenburg

**Marie Kramer**  
Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover  
Hannover

**Katja Krebelder**  
Landesanstalt für Landwirtschaft  
Grub

**Fabian Krischke**  
Bayerisches Landesamt für Umwelt  
Augsburg

**Dr. Manuel S. Krommweh**  
Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung  
Bonn

**Michael Kropsch**  
Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt  
für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein  
Irdning-Donnersbachtal (Österreich)

**Thomas Kupper**  
Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissen-  
schaften HAFL  
Zollikofen (Schweiz)

**Dr. Alexandra Lengling**  
Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn  
Bonn

**Stefan Linke**  
Thünen-Institut für Agrartechnologie  
Braunschweig

**Dr. Bernd Losand**  
Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei  
Dummerstorf

**Dr. Julia Malchow**  
Friedrich-Loeffler-Institut  
Celle

**Julian Markus**  
LUFA Nord-West  
Oldenburg

**Michael Martin**  
IVL Swedish Environmental Research Institute  
Stockholm (Schweden)

**René Méité**  
Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V.  
Müncheberg

**Dr. Andreas Melfsen**  
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel  
Kiel

**Andrea Meyer**  
Landwirtschaftskammer Niedersachsen  
Hannover

**Dr. Joachim Mohn**  
Empa  
Dübendorf (Schweiz)

**Irene Mösenbacher-Molterer**  
Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein  
Irdning-Donnersbachtal (Österreich)

**Andreas Nauber**  
Drägerwerk AG & Co. KGaA  
Lübeck

**Pia Niewind**  
Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen  
Bad Sassendorf

**Anton Obermaier**  
Landesanstalt für Landwirtschaft  
Grub/Poing

**Dr. Folkert Onken**  
Deutscher Verband für Leistungs- und Qualitätsprüfungen e.V.  
Melle

**Dr. Dietmar Öttl**  
Amt Der Steiermärkischen Landesregierung  
Graz (Österreich)

**Dr. Reinhard Puntigam**  
Landesanstalt für Landwirtschaft  
Grub

**Frank Reinicke**  
INL – Privates Institut für Nachhaltige Landbewirtschaftung GmbH  
Halle/Saale

**Prof. Dr. Markus Rodehutschord**  
Universität Hohenheim  
Hohenheim/Stuttgart

**Andreas Rudi**  
Karlsruher Institut für Technologie  
Karlsruhe

**Harsh Sahu**  
Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e.V.  
Potsdam

**Stefan Sakop**  
Landwirtschaftskammer Niedersachsen  
Oldenburg

**Dr. Peter Sanftleben**  
Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei  
Dummerstorf

**Prof. Dr. Stephan Schneider**  
Hochschule für Wirtschaft und Umwelt  
Nürtingen-Geislingen

**Nadine Schnipkoweit**  
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel  
Kiel

**Dr. Sabine Schrade**  
Agroscope  
Ettenhausen (Schweiz)

**apl. Prof. Dr. Lars Schrader**  
Friedrich-Loeffler-Institut  
Celle

**Henning Schulte**  
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel  
Kiel

**Prof. Dr. Frank Schultmann**  
Karlsruher Insitut für Technologie  
Karlsruhe

**PD Dr. Jochen Schulz**  
Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover  
Hannover

**Michael Schwarzenberger**  
Landwirtschaftliches Bildungs- und Beratungszentrum  
Arenenberg  
Salenstein (Schweiz)

**Alexej Smirnov**

Kuratorium für Technik und Bauwesen  
in der Landwirtschaft e.V.  
Darmstadt

**Dr. Diana Sorg**

Umweltbundesamt  
Dessau

**Prof. Dr. Hubert Spiekers**

Landesanstalt für Landwirtschaft  
Grub

**Dr. Birgit Spindler**

Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover  
Hannover

**Markus Spuhler**

Agridea  
Lindau (Schweiz)

**Michael Stäuble**

Bundesamt für Landwirtschaft, BLW  
Bern (Schweiz)

**Barbara Steiner**

Agrofutura AG  
Brugg (Schweiz)

**PD Dr. Kathrin F. Stock**

Vereinigte Informationssysteme Tierhaltung w.V. (vit)  
Verden

**Dr. Kathrin Toppel**

Hochschule Osnabrück  
Osnabrück

**Nina Tremel**

Karlsruher Institut für Technologie  
Karlsruhe

**Dr. Manfred Trimborn**

Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn  
Bonn

**Annelies Uebersax**

Agrofutura AG  
Brugg (Schweiz)

**Sandra Uthes**

Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V.  
Müncheberg

**Dr. Anke van Ohlen**

Landeskontrollverband Weser Ems e.V.  
Leer

**Wolfgang Vogt**

Landwirtschaftskammer Niedersachsen  
Osnabrück

**Erich von Ah**

Römerrain Landwirtschaftliche Beratung  
Pfäffikon (Schweiz)

**Huyen Thi Thanh Vu**

Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e.V.  
Potsdam

**Stéphanie Vuille**

Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissen-  
schaften HAFL  
Zollikofen (Schweiz)

**Prof. Dr. Jens Karl Wegener**

Julius Kühn-Institut  
Braunschweig

**Dr. Daniel Werner**

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen  
Bad Sassendorf

**Andreas Werner**

Landesverband Baden-Württemberg für Leistungsprüfun-  
gen in der Tierzucht e.V.  
Stuttgart

**Lilly Wokel**

Universität Hohenheim  
Stuttgart

**Dr. Ulrike Wolf**

Kuratorium für Technik und Bauwesen  
in der Landwirtschaft e.V.  
Darmstadt

**Dr. Sebastian Wulf**

Kuratorium für Technik und Bauwesen  
in der Landwirtschaft e.V.  
Darmstadt

**Dr. Qianying Yi**

Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e.V.  
Potsdam

**Dr. Michael Zähler**

Agroscope  
Ettenhausen (Schweiz)

**Univ.-Prof. Dr. Jürgen Zentek**

Freie Universität Berlin  
Berlin

**Eduard Zentner**

Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirt-  
schaft Raumberg-Gumpenstein  
Irdning-Donnersbachtal (Österreich)

**Kerstin Zeyer**

Empa  
Dübendorf (Schweiz)



