

Emissionsminderung (NEC) im Stallbau - ein Widerspruch zu Tierwohl?

Alfred Pöllinger-Zierler^{1*} und Eduard Zentner¹

Zusammenfassung

Die Landwirtschaft und hier ganz besonders die tierhaltende Landwirtschaft sieht sich besonderen Herausforderungen im Lichte des massiv gesteigerten Tierwohlbewusstseins und dem Erfordernis der Emissionsreduktion (ökosystemisch und klimarelevante Emissionen) gegenübergestellt. Mehr Licht, mehr Bewegungsfläche, tierindividuell angepasste Haltungsbedingungen sind wesentliche Forderungen aus der Sicht des Tierschutzes. Dabei stößt insbesondere die Forderung nach erhöhtem Flächenangebot im Stallbau nicht nur an ökonomische Grenzen, sondern vergrößert damit auch den Anteil der emissionsaktiven Oberfläche in der Rinderhaltung. In der Schweine- und Geflügelhaltung ist dieser Zusammenhang nicht gegeben. Um diesen augenscheinlichen Zielkonflikt in der Rinderhaltung lösen zu können braucht es im Wesentlichen emissionsarme Lauf- und Fressgangflächen, die gut gereinigt werden und damit reinen raschen Harnabfluss gewährleisten. In der Schweinehaltung lässt sich die Forderung nach erhöhtem Flächenangebot, Emissionsminderung und Tierwohl in funktionsgetrennten (Liegen-Aktivität-Ausscheiden) Haltungsformen gut umsetzen. Dazu gibt es auch ein aktuell laufendes Forschungsprojekt an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein (SaLuT). In der Geflügelhaltung liefern die Kotbandtrocknung, die Mehrphasenfütterung und die Nippeltränken mit Auffangschalen gute emissionsmindernde Ergebnisse. In der Mastgeflügelhaltung wird mittlerweile standardmäßig eine Fußbodenheizung eingebaut, die die Laufflächen trocken und damit emissionsarm halten und zugleich aus tiergesundheitlicher Sicht Vorteile bieten (Ballenfäule). Letztlich hat auch das Stallraumklima nicht nur aus Tierwohlgründen einen sehr hohen Stellenwert, sondern auch aus emissionstechnischer Sicht. Deshalb sind generell Dämm- und Kühlmaßnahmen zur Reduktion der Stallinnenraumtemperatur wichtig. Die Reduktion von (Ammoniak-) Emissionen aus der Tierhaltung ist nicht nur ein wichtiger Beitrag zur Erreichung der NEC-Ziele, sondern bietet auch den Tieren in der Regel bessere Haltungsbedingungen. Die höheren Investitionskosten für mehr Tierwohl und Emissionsminderung werden zum Teil über eine gezielte Investitionsförderung des Landwirtschaftsministeriums abgegolten. Deshalb ergeben die Forderung nach hohen Tierwohlstandards und Emissionsreduktion in vielen Teilbereichen Synergieeffekte. Jedenfalls braucht es eine sehr gute Planung und in einigen Teilbereichen noch konkrete Forschungsergebnisse.

Summary

Animal husbandry, is faced with particular challenges in the light of increase in animal welfare awareness and the need to reduce emissions (NH₃, CH₄, N₂O). More light, more space to move around, housing conditions adapted to the individual animal are essential requirements from the point of view of animal welfare. In particular, the demand for more space in barn construction not only comes up against economic limits, but also increases the proportion of emission-active surface in cattle housing. This connection does not exist in pig and poultry housing. In order to be able to solve this conflict of objectives in cattle husbandry, low-emission walking and feeding areas are required that are well

¹ HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Institut für Tier, Technik und Umwelt, Raumberg 38, A-8952 Irdning-Donnersbachtal

* Ansprechpartner: DI Alfred Pöllinger-Zierler, email: alfred.poellinger-zierler@raumberg-gumpenstein.at

cleaned and thus ensure clean, rapid urine drainage. In pig farming, the demand for more space, emission reduction and animal welfare can be easily implemented in functionally separate (lying-activity-excretion) forms of husbandry. There is also a current research project at the HBLFA Raumberg-Gumpenstein (SaLuT). In poultry farming, manure belt drying, multi-phase feeding and nipple drinkers with drip cups deliver good emission-reducing results. Underfloor heating is now installed as standard in broiler farming, which keeps the walking surfaces dry and therefore low in emissions and at the same time offers advantages from an animal health point of view. Ultimately, the indoor climate is also very important, not only for reasons of animal welfare, but also from an emissions point of view. That is why insulation and cooling measures are generally important to reduce the inside temperature of the barn. The reduction of (ammonia) emissions from animal husbandry is not only an important contribution to achieve the NEC targets, but also generally offers the animals better husbandry conditions. The higher investment costs for more animal welfare and emission reduction are partly covered by investment subsidies from the Ministry of Agriculture. For this reason, the demand for high animal welfare standards and emission reductions even results in synergy effects in many sub-areas. In any case, it needs very good planning and concrete research results in some areas. Schlagwörter:

Einleitung

Die landwirtschaftliche Tierhaltung sieht sich vielen kritischen Diskussionen gegenübergestellt. Vor allem die Themenbereiche Tierwohl, Klima- und ganz allgemein Umweltschutz werden im Zusammenhang mit sich ändernden Ernährungsgewohnheiten kritisch hinterfragt. Auf einschlägigen Websites werden Studien zitiert, in denen der Fleischkonsum und dabei insbesondere der Rindfleischkonsum hauptverantwortlich für den Klimawandel zeichnen (Xu, X., et al., 2021). Demgegenüber stellt Windisch, W., (2022) die Behauptung auf: „Wiederkäuer sind ein unverzichtbares Instrument der Landwirtschaft zur klimaneutralen Erzeugung von Nahrungsmitteln“. Als Einschränkung fügt Windisch allerdings dazu, dass es sich bei der Wiederkäuerernährung nur um nicht-essbare Biomasse aus absolutem Grasland handeln darf. Mit dieser Art der Verwertung von für Menschen nicht verwert- und damit für die Ernährung nicht verwendbaren Biomasse werden hochwertige Lebensmittel (Milch, Milchprodukte und Fleisch) erzeugt. Damit ist auch keine Nahrungskonkurrenz zum Menschen gegeben, stellt Windisch in seinem Beitrag zur viehwirtschaftlichen Fachtagung an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein (2022) fest. Viel unmittelbarer für die tierhaltende Landwirtschaft steht allerdings die sogenannte „NEC-Richtlinie“ zur Umsetzung nicht vor, sondern bereits „in“ der Tür der Betriebe. Mit dieser EU-Richtlinie ist eine für alle Mitgliedsstaaten verpflichtende Reduktion von Luftschadstoffen, die allesamt zur Feinstaubbildung beitragen, verbunden (Richtlinie (EU) 2016/2284). Neben Schwefeldioxid (SO₂) aus der Industrie, Stickoxid (NO_x) aus dem Verkehr, nichtmethanflüchtige organische Kohlenwasserstoffe (NMVOC) aus der Lackindustrie und anderen Quellen, ist auch Ammoniak (NH₃) betroffen. Während die anderen Luftschadstoffe ganz klar (SO₂ und NO_x) oder jedenfalls überwiegend (NMCOC) anderen Quellen zuzuordnen sind, stammt Ammoniak zu 94 % aus der Landwirtschaft und dabei überwiegend – annähernd zu 90 % – von den Ausscheidungen der Tiere (siehe *Abbildung 1*). Der deutlich kleinere Rest stammt aus dem Bereich der Mineraldüngeranwendung und hier insbesondere aus dem Bereich der Harnstoffdüngeranwendung. Bis 2030 müssen die Ammoniakemissionen in Österreich um 12 %, bezogen auf das Basisjahr 2005 reduziert werden. Berechnet auf den Emissionsstand 2020 sind wir mittlerweile um gut 15 % vom Reduktionsziel 2030 entfernt. Ausgedrückt in kt NH₃ bedeutet dies eine Reduktion von rund 10 kt. Um dieses Ziel zu erreichen braucht es Anstrengungen

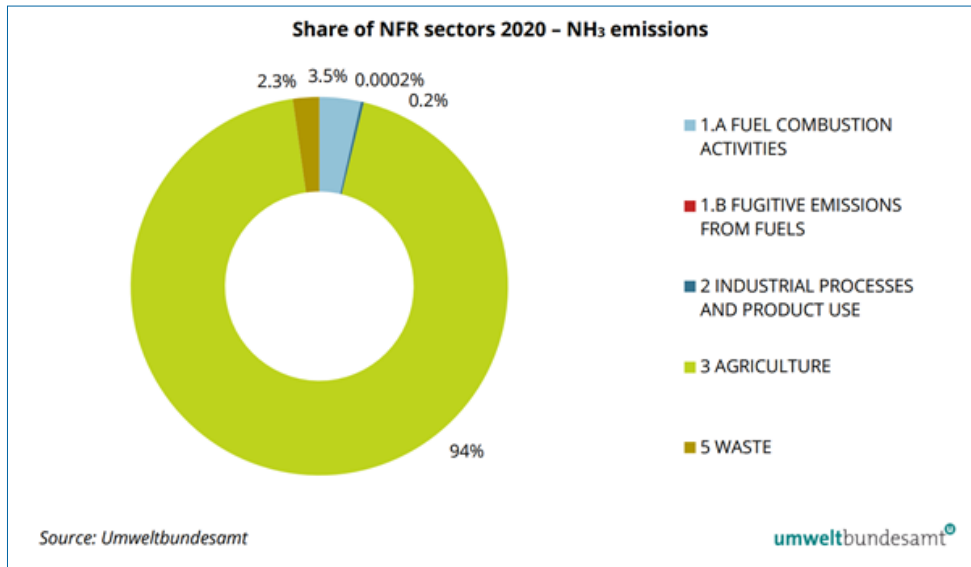


Abbildung 1: Anteil der Ammoniakemissionen aus dem NFR Sektor berechnet für das Jahr 2020 (Quelle: Umweltbundesamt, REP-0809, 2022)

in allen Aktivitätsbereichen (Fütterung-Stall/Auslauf/Weide-Wirtschaftsdüngerlagerung und -ausbringung) und bei allen Tierarten. Die Rinderhaltung trägt mit knapp über 60 % am stärksten zu den Ammoniakemissionen aus der Landwirtschaft bei. Die Schweinehaltung zu rund 20 % und die Geflügelhaltung zu rund 10 %. Der Rest teilt sich auf die anderen Tierarten wie Pferde, Ziegen und Schafe auf. Ammoniak entsteht durch die Kombination des Zusammenwirkens von Urin und Kot. Der Harnstoff im Urin wird durch das Enzym Urease aufgespalten und Ammoniak entsteht. Je größer die mit Kot und Harn verschmutzte Oberfläche in einem Stall ist, desto höher sind die Ammoniakemissionen. Dementsprechend wäre die Anbindehaltung in der Rinderhaltung eine, aus rein emissions-technischer Sicht „optimale“ Stallhaltungsform mit „nur“ 5 kg Ammoniakemissionen pro Jahr von einer Milchkuh mit einem durchschnittlichen Leistungsniveau. In der Laufstallhaltung sind es rund 15 kg/Milchkuh und Jahr. Nachdem Emissionsschutzmaßnahmen nicht kontra Tierwohl umzusetzen sind, geht es vielmehr um Maßnahmenfindung, die beide Erfordernisse zu erfüllen mögen – Tierwohl UND Emissionsschutz.

Tierwohlkonforme, emissionsmindernde Maßnahmen im Rinderstallbau

Lauf- und Fressgänge mit planbefestigten Oberflächen müssen, um den Erfordernissen der Emissionsminderung entsprechen zu können, mit einem Quergefälle von 3 % hin zu einer Harnsammelrinne ausgestattet werden. Mit dieser baulichen Maßnahme in Kombination mit einem an den Verschmutzungsgrad angepassten Entmistungsintervall (i.d.R. 10-12 Mal/Tag) lassen sich somit rund 20 % der Ammoniakemissionen aus einem Laufstall reduzieren (Zähner, M., et al., 2017). Diese bauliche Maßnahme zur Emissionsminderung ist bei einem bestehenden Fress- und Laufgang mit Harnsammelrinne auch nachrüstbar. Herstellerfirmen von Gummimatten im Rinderstallbau haben eine Laufgangmatte mit Quergefälle neu im Sortiment. Ob auch bei Laufgängen ohne Harnsammelrinne eine derartige Emissionsminderung erreichbar ist, müsste noch untersucht werden. Jedenfalls braucht es damit eine deutlich erhöhte Frequenz der Entmistungstechnik. Zusätzlich ist noch zu klären, ob und wie eine derartige bauliche Maßnahme mit einem Sammelroboter kombinierbar ist.

Mit erhöhten Fressständen und damit verkleinerten Laufgangoberflächen lassen sich zusätzlich 15 % der Emissionen reduzieren. Beide Maßnahmen wurden und werden aus der „Tierwohlsicht“ kritisch diskutiert. Zum einen hinsichtlich des erhöhten Risikos des Ausrutschens auf den geneigten Oberflächen, andererseits hinsichtlich der zusätzlich

erforderlichen Steuerungselemente für die Fressplatzteiler, damit die Tiere nicht entlang der erhöhten Fressstände laufen und damit koten und harnen können. Der Aspekt „geneigte Laufgängflächen“ wurden an der FAT Tänikon vom Forschungsteam untersucht und es wurden dabei nur „geringe“ Unterschiede zwischen ebener und geneigter Laufgangoberfläche beim Ausrutschen festgestellt. Die Fressplatzteiler sind aus der Sicht des Forschungsteams eine sehr gute Maßnahme um das großräumige Verdrängen vom Fressplatz durch höherrangige Tiere zu verhindern.

Im Rahmen des EmiMin Projektes des KTBL wird derzeit ein Rillenboden hinsichtlich seiner emissionsmindernden Wirkung am Forschungsgut Dummerstorf, Deutschland untersucht. Dazu wird eine 40 %ige emissionsmindernde Wirkung erwartet. Die Ergebnisse dazu werden Ende 2023 erwartet (Gallmann, E., 2021). Die bisher von der Fachstelle für tiergerechte Haltung und Tierschutz geprüften Rillenböden der Firmen Schwarz aus Beton und Laufflächenmatten der Firmen Kraiburg und Bioret Agri (frz. Hersteller), mit Rillennmuster ausgeführt, wurden positiv beschiedet, d.h. die Tierschutzkonformität ausgestellt. Für Spaltenböden gibt es derzeit noch kein von offizieller Stelle geprüfetes Produkt, das in Stallungen eingebaut werden kann und den Erfordernissen der Emissionsminderung entspricht. Derzeit wird in dem KTBL Projekt EmiMin ein Spaltenboden mit „Emissionsminderungskappen“ geprüft. Aus holländischen Untersuchungen wird von einem Emissionsminderungspotenzial von 45 % ausgegangen. Die Bemühungen zur Reduktion des Luftaustausches zwischen der Laufgangoberfläche und den darunterliegenden Flüssigmistkanälen reichen schon mehrere Jahre zurück. Bisher scheiterte die praktische Umsetzung in der dauerhaft gewährleisteten Funktionalität der Verschlussklappen in Kombination mit der sicheren Reinigungswirkung des Spaltenbodens. Um letzteren Punkt gewährleisten zu können, ist jedenfalls der Einsatz eines Spaltenroboters von Nöten. Die Kombination mit erhöhten Fressständen ist auch in Laufställen mit Spaltenböden als emissionsmindernde Maßnahme möglich.

Der Auslauf wird besonders aus dem Gesichtspunkt der „Klimareize“ für die Tiere als besonders hochwertig angesehen. Aus emissionstechnischer Sicht stellt ein zusätzlicher Auslauf gleichzeitig eine zusätzliche Emissionsquelle dar. Deshalb sind Ausläufe ähnlich zu planen, wie dies für Lauf- und Fressgangflächen gefordert wird. Wenn möglich mit geneigten Oberflächen hin zu einer Entwässerungsmöglichkeit (Güllegrube, Ableitkanal). Max. 10 % der Auslaufläche dürfen in Form eines Spaltenbodens ausgeführt sein, damit ein darunterliegendes Güllelager als abgedecktes Güllelager zu berechnen ist und dennoch die Drainagefunktion der Auslaufläche gewährleistet ist. Jedenfalls ist eine Reinigungstechnik vorzusehen, die ein periodisches (mind. 2x/täglich) Reinigen der Auslaufläche gewährleisten kann. Ein Entmistungsroboter kann hier sehr wertvolle Dienste leisten.

Der Kompoststall ist aus der Sicht des Tierwohls besonders gut zu bewerten. Ein großzügiges Flächenangebot bei freiem, sehr weichem Abliegen sind hier die wesentlichen Faktoren. Lediglich die Kompostmattentemperatur ist im Sommer mit einer sehr guten Querdurchlüftung oder mit zusätzlichen Lüftungsventilatoren auszugleichen. Hohe Baukörper sind dabei von Vorteil. Die emissionstechnische Bewertung fällt bei den bisher gelaufenen Untersuchungen unterschiedlich aus. In einer österreichischen Untersuchung konnten im Vergleich zum klassischen Liegeboxenlaufstall deutlich geringere Emissionen im Kompoststall gemessen werden (Pöllinger, A., et al., 2017). Mit den Aspekten des Tierverhaltens in Kompostställen haben sich mehrere Arbeiten beschäftigt. In allen bisher gelaufenen Projekten wird der Kompoststall aus der Sicht des Tierwohles besonders geeignet beschrieben (Ofner-Schröck, et al., 2012).

Weitere Forschungen beschäftigen sich mit u.a. mit dem Einsatz von Urease Inhibitoren. Diese sollen den Abbau von Harnstoff zu Ammoniak verhindern. Damit konnte in den Untersuchungen eine Reduktion der Ammoniakemissionen von 17 bis 31 % festgestellt werden (Bobrowski, A. B., et al., 2021). Ob diese Methode letztlich auch breitflächig einsetzbar sein wird bedarf weiterer, vor allem aber auch einer ökonomischen Beurteilung.

Die Weidehaltung in der Rinderhaltung wird in der Emissionsbewertung indirekt der Stallhaltung zugeordnet. Aufgrund der örtlich getrennten Ausscheidungen von Kot und Harn kommt es bei der Weidehaltung zu keinen nennenswerten zusätzlichen Ammoniakemissionen. Deshalb wird diese Aktivitätsform nicht nur aus der Sicht des Tierwohles, sondern auch aus der Sicht der Emissionsminderung besonders positiv bewertet.

Tierwohlkonforme, emissionsmindernde Maßnahmen im Schweinestallbau

Tierwohl und Emissionsminderung sind kein Widerspruch mehr, zahlreiche Techniken und Untersuchungen bestätigen die Konformität beider Thematiken. Allein die herabgesetzte durchschnittliche Jahrestemperatur in Außenklimastallungen bringt nicht nur Vorteile im Hinblick auf das Tierwohl und den Klimareizen, sie führt in einem sehr akzeptablen Ausmaß auch zu einer begleitenden Ammoniakminderung im unmittelbaren Tierbereich. Der Ansatz einer Emissionsminderung im Tierbereich ist absolute Empfehlung und unterstützenswert, nicht zuletzt zeigen hauseigene Untersuchungen, dass jegliche Technik der Abluftreinigung (end of pipe Lösung) die heimischen Strukturen der Schweinehaltung in deren Existenz gefährden würde. Die Diskussion zum Thema Tierwohl geht weit über das eigentliche Haltungssystem hinaus, im speziellen spielt die Gestaltung des Stallklimas ganz wesentlich in diesen Bereich hinein. Der Klimawandel zeigt sich in massiver Ausdehnung auch in der Haltung der Nutztiere in allen Nutzungsrichtungen. In zahlreichen Publikationen des KTBL finden sich Angaben zur Kühlung von Stallungen und einer damit einhergehenden Ammoniakminderung von 10% je Grad an abgesenkter Temperatur. Der Gestaltung, insbesondere der luftführenden Dachkonstruktionen kommt in Zukunft ein ganz besonderes Augenmerk zu. In der KTBL Schrift „Förderfähige Techniken zur Emissionsminderung in Stallbauten“ aus dem Jahr 2022 findet sich die aktuell breit diskutierte und auch im EU Forschungsprojekt SaLuT bereits umgesetzte Kot-Harn-Trennung mit einem Minderungspotenzial von bis zu 50 % wieder. Die von der HBLFA Raumberg-Gumpenstein in diesem Projekt durchgeführten NH₃ Messungen bestätigen diese Annahmen nicht nur, man geht durchaus auch von noch größeren Potenzialen aus. In diesem Tierwohlstall ist als bauliche Maßnahme auch eine Unterflur-Zuluft in das System integriert, welches im Sommer mit einem Coolpad ergänzt wird. Der Kühleffekt am heißesten Tag des Jahres 2021 lag bei 9 Kelvin. Die Zuluftvorwärmung in der kalten Jahreszeit, bringt im Ruhe- bzw. Liegebereich der Tiere absolute Bestbedingungen, die der Außenluftqualität gleichen. Das Projekt ist allerdings noch nicht abgeschlossen, der Endbericht ist mit 2023 zu erwarten. Stephan Schneider von der Hochschule Nürtingen-Geislingen zeigt im Rahmen von Netzwerk Focus Tierwohl in seiner Präsentation am 29.11.2021 die unabdingbare Kombination von neuen Haltungsverfahren mit neuen Empfehlungen im Bereich der Fütterung. Eine Mehrphasenfütterung sei einzusetzen, und Stickstoffgehalte aber auch Phosphor sollten begrenzt werden. Hauseigene Untersuchungen zeigen, dass sich mit einer 10phasigen Fütterung weitere 40% an Ammoniakemissionen reduzieren lässt.

Ausgehend von der Problematik, dass der verabreichte Stickstoff in der Verdauung der Schweine nur zu einem Drittel im Körper umgesetzt wird, verschärfen aktuell massiv steigende Futtermittelpreise die Diskussion zunehmend. Der Gehalt an Rohprotein in der Ration hat damit nicht nur wirtschaftliche Auswirkungen auf die heimischen Betriebe, er ist wesentlich mit dem Emissionsverhalten für Ammoniak aber auch für Geruch verknüpft. Es gilt die generelle Aussage, dass bei einer Reduktion von einem Prozent an RP, eine Emissionsminderung von 10 bis 11 % zu erwarten sind.

Aktuelle Untersuchungen an Tierwohlstallungen zeigen auch, dass bei Einsatz von Stroh als Einstreumaterial eine Technik zur Minderung der Feinstaubpartikel im Tierbereich unerlässlich ist. Auf mehreren Betrieben zeigten die Mastschweine respiratorische Probleme, das erhöhte Staubaufkommen im Tierbereich ist offensichtlich. Die Staubpartikel

führen aber nicht nur im Tierbereich zu Problemen, als Trägerpartikel für Ammoniak und Geruch, kommt ihnen auch eine Bedeutung im Hinblick auf das Immissionsverhalten zu.

Tierwohlkonforme, emissionsmindernde Maßnahmen im Geflügelstallbau

Tierwohl und Wohlbefinden, insbesondere auch im Hinblick auf die Tiergesundheit, sind unabdingbarer Bestandteil einer wirtschaftlich erfolgreichen Geflügelhaltung. Die baulich-technischen Maßnahmen zur Emissionsminderung im Stall und im unmittelbar angebauten Bereich sind in keinem großen Ausmaß verbreitet. Während die technischen Maßnahmen wie die einer Kotbandbelüftung inkl. erhöhtem Abdrehintervall, eine Mehrphasenfütterung oder Nippeltränken mit Auffangschalen mittlerweile als Standard zu bezeichnen sind, gibt es zu baulich-technischen Maßnahmen kaum belastbare Zahlen.

In Österreich sind die Geflügelstallungen in deren baulichen Ausführung äußerst homogen. Die Bauhülle als auch die Dachkonstruktion sind isoliert ausgeführt. Aktuell wird dies als emissionstechnisch positiv erachtet, allerdings kaum ein Mastgeflügelstall ohne integrierte Fußbodenheizung gebaut. Eine trockene Einstreu bzw. eine schnellstmögliche Abtrocknung des abgesetzten Kots ist nicht nur emissionstechnisch als positiv zu bewerten, sondern auch aus veterinärmedizinischer Sicht absolut erstrebenswert. Die Ballengesundheit, als wesentlicher Bestandteil einer wirtschaftlichen Geflügelhaltung, hat oberste Priorität vom Tag der Einstallung bis zum Ausstallen.

Geflügelstallungen mit Auslaufmöglichkeit zeigen im direkten Umfeld des Stalles nicht nur vermehrte Nährstoffeinträge, sondern auch ein ausgeprägtes Immissionsverhalten. Die im Hinblick auf das Tierwohl sehr positiv zu bewertende und zunehmende Anzahl an angebauten Wintergärten kann dabei ganz wesentlich positiv einwirken. Als überdachter und begrenzter Auslauf wirkt der Wintergarten auf Grund verminderter Kotablage innerhalb und außerhalb des Stalles emissionsmindernd.

Literatur:

Bobrowski A. B., Dooren, H. J., Ogink, 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. ISSN 1537-5110, <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2021.01.006>.

Dörflinger, M., (2020): Gutachten zur Bewertung des Produktes „MEADOWFLOOR® für Laufgangplatten mit Kammschieberentmischung von BETONWERK SCHWARZ GmbH“. Fachstelle für tiergerechte Tierhaltung und Tierschutz, Veterinärplatz 1, 1210 Wien. 31.01.2020.

Dörflinger, M., (2020): Gutachten zur Bewertung des Produktes „MAGELLAN® GROOVE 25“ - unveröffentlicht. Fachstelle für tiergerechte Tierhaltung und Tierschutz, Veterinärplatz 1, 1210 Wien. 21.01.2020.

Dörflinger, M., (2019): Gutachten zur Bewertung des Produktes „RIMA von KRAIBURG Elastik GmbH & Co. KG“. Fachstelle für tiergerechte Tierhaltung und Tierschutz, Veterinärplatz 1, 1210 Wien. 18.10.2019.

EU-Richtlinie (2016/2284): RICHTLINIE (EU) 2016/ 2284 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES - vom 14. Dezember 2016 - über die Reduktion der nationalen Emissionen bestimmter Luftschadstoffe, zur Änderung der Richtlinie 2003/ 35/ EG und zur Aufhebung der Richtlinie 2001/ 81/ EG (europa.eu)

Gallmann, E., (2021): Emissionsminderung Nutztierhaltung – Eindrücke aus dem Verbundvorhaben. Vortragsunterlagen. Bautagung Raumberg-Gumpenstein 2021; S87-104 ISBN:978-3-902849-85-4

Hahne, J., (2020): Jahrbuch Agrartechnik 2020 Bioverfahrens- und Umwelttechnik Möglichkeiten zur Emissionsvermeidung und –verminderung.

Ofner-Schröck, E., Huber, G., Gasteiner, J., Guggenberger, T., Vockenhuber, D., Rudorfer, B., Krimberger, B., Zähner, M., Guldimann, K., (2013): Rahmenbedingungen für den Einsatz von Kompostställen in der Milchviehhaltung. Abschlussbericht, Nr. 3599. HBLFA Raumberg-Gumpenstein, 8952 Irdning.

Pöllinger, A., Pöllinger, B., (2016): Kompoststall für Rinder - Kompostmanagement, Ammoniakemissionen, VOCs und Mikrobiologie. Bautagung Raumberg-Gumpenstein 2017, 9 – 12 ISBN: 978-3-902849-49-6

Sajeevet al., (2017): Evaluating the potential of dietary crude protein manipulation in reducing ammonia emissions from cattle and pig manure: A meta-analysis.

Schrade, S., (2017): Agrartechnik II – Emissionen aus der Tierhaltung I ETH FS 2017 43 I © Agroscope Tänikon.

Thünen Report 67, (2019): Calculations of gaseous and particulate emissions from German Agriculture 1990-2017, S. 10

Windisch, W., (2022): Warum Klimaneutralität und Wiederkäuerhaltung kein Widerspruch ist. 49. Viehwirtschaftliche Fachtagung 2022, 33 – 40. Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein. ISBN: 978-3-902849-89-2

Xu, X., Sharma, P., Shu, S. et al., (2021): Die globalen Treibhausgasemissionen von tierischen Lebensmitteln sind doppelt so hoch wie die von pflanzlichen Lebensmitteln. Nat Food 2, 724–732. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00358-x>

Zähner, M., Poteko, J., Zeyer, K. und Schrade, S., (2017): Laufflächengestaltung: Emissionsminderung und verfahrenstechnische Aspekte - erste Ergebnisse aus dem Emissionsversuchsstall Tänikon. Bautagung Raumberg-Gumpenstein 2017, 13 – 18 ISBN: 978-3-902849-49-6

