

Pilotstudie: Bewertung der Ammoniakemissionspotenziale von Milchkuhlaufställen bei Kombination mehrerer Minderungsmaßnahmen

Franziska Christ, Barbara Benz

Die nationalen Verpflichtungen zur Emissionsminderung (NEC) erfordern den Einsatz von NH_3 -Minderungsmaßnahmen auf tierhaltenden Betrieben. Wie sich eine Maßnahmenkombination in Milchkuhlaufställen auf das NH_3 -Emissionspotenzial auswirkt, wurde in dieser Pilotstudie exemplarisch anhand eines innovativen Stallbauprojekts aus einem EIP Agri-Projekt in Baden-Württemberg analysiert. Hierfür wurde eine Methode zur Bewertung der NH_3 -Emissionspotenziale auf Basis einer Multiplikation von Minderungsfaktoren entwickelt und angewendet. Für das Stallbeispiel mit Laufhof konnte damit ein geringeres Emissionspotenzial pro Tierplatz und Jahr als für einen Standard-Liegeboxenlaufstall ohne Laufhof ermittelt werden. Eine Minderung des Gesamtemissionspotenzials des Beispielbetriebs gegenüber der Ausgangssituation war aufgrund der Verdopplung der Herdengröße im Zuge des Neubaus jedoch nicht möglich. Die Studie zeigte indessen Potenzial für die Vereinbarkeit von Tierwohl und NH_3 -Emissionsminderung in der Milchkuhhaltung auf.

Schlüsselwörter

Ammoniak, Milchvieh, Emissionsminderung, Maßnahmenkombination, Stallbau

Die EU-Richtlinie über die Reduktion der nationalen Emissionen bestimmter Luftschadstoffe (National Emission Ceilings (NEC)) verpflichtet Deutschland zu einer Reduktion der Ammoniakemissionen gegenüber dem Referenzjahr 2005 um 5 % bis 2020 und um 29 % bis 2030 (RICHTLINIE (EU) 2016/2284). Zu 95 % werden die deutschen Ammoniakemissionen von der Landwirtschaft verursacht (UBA 2018). Um diese zu mindern, müssen zusätzlich zu den Maßnahmen bei der Lagerung und Ausbringung des Wirtschaftsdüngers baulich-technische Maßnahmen direkt in den Ställen ergriffen werden (EURICH-MENDEN et al. 2018). Im Rinderstall entsteht Ammoniak (NH_3) bei Kontakt von Harn und Kot durch die enzymatische Spaltung des Harnstoffs aus dem Harn mithilfe des Enzyms Urease aus dem Kot bzw. von kotverschmutzten Flächen (MONTENY und ERISMAN 1998, BRAAM und SWIERSTRA 1999). Da die Emissionen mit zunehmender Größe der emittierenden Fläche steigen (MONTENY und ERISMAN 1998, BRAAM und SWIERSTRA 1999, SNOEK et al. 2014), verdreifacht sich der NH_3 -Emissionsfaktor durch die Umstellung von Anbindehaltung auf Laufstallhaltung auf 14,57 kg NH_3 pro Tierplatz und Jahr (VDI 3894-1 2011). Auch der hohe Stellenwert des Tierwohls im Rahmen des Agrarinvestitionsförderungsprogramms (AFP) in Baden-Württemberg könnte zu einer Steigerung der Emissionen führen. Der Grund hierfür ist die größere Fläche pro Tier, die sich v. a. durch den Bau eines Laufhofs im

Rahmen der AFP-Premiumförderung ergibt. Hier zeigt sich der viel diskutierte Zielkonflikt zwischen Emissionsminderung und Tierwohl (WBA 2015).

Das EIP Agri-Projekt „Bauen in der Rinderhaltung“ (EIP-Rind) hat zum Ziel, diesen Zielkonflikt durch innovative Konzepte und Maßnahmen im Stallbau aufzulösen. Bis Ende 2022 werden mehr als 20 Stallbauprojekte gemeinsam mit Landwirten geplant und realisiert, die wissenschaftlich begleitet als Leuchtturmprojekte in Baden-Württemberg dienen. Die Innovation dieser Stallbauten besteht u.a. aus der Kombination mehrerer baulich-technischer NH_3 -Minderungsmaßnahmen, die gleichzeitig Synergieeffekte zum Tierwohl erwarten lassen. Um das Potenzial der Maßnahmenkombinationen abschätzen zu können, wurde in dieser Pilotstudie eine entsprechende Methode zur Bewertung der NH_3 -Emissionspotenziale von Milchkuhlaufställen entwickelt und angewendet. Zusätzlich wurden die Investitionskosten der eingesetzten Maßnahmen berechnet.

Baulich-technische Maßnahmen zur NH_3 -Emissionsminderung im Milchkuhlaufstall und deren potenzielle Synergieeffekte zum Tierwohl

Erhöhte Fressstände können zur Minderung der NH_3 -Emissionen aus dem Milchviehstall beitragen, indem sie die verschmutzte Fläche reduzieren (ZÄHNER et al. 2019) und eine höhere Schieberfrequenz im Fressgang ermöglichen, ohne die Kühe bei der Futteraufnahme zu stören (BENZ et al. 2014, ZÄHNER et al. 2019). Fressplatzteiler an jedem zweiten Fressplatz verhindern, dass sich die Kühe beim Verlassen des Fressplatzes auf dem Podest umdrehen und auf die Standfläche koten (EIP-RIND 2019, ZÄHNER et al. 2019). Außerdem verringern sie die Verdrängung vom Fressplatz durch ranghöhere Tiere (BENZ et al. 2014, ZÄHNER et al. 2019).

Das höchste Potenzial zur Emissionsminderung liegt bei freigelüfteten Laufställen vermutlich jedoch in der Gestaltung und Reinigung der Laufflächen (EURICH-MENDEN et al. 2018). Das Prinzip zur Minderung der Emissionen von planbefestigten Laufflächen basiert auf einer raschen Ableitung des Harns (SCHRADE et al. 2017). Diese kann bei häufiger Entmistung von planbefestigten Laufflächen mit 3 % Quergefälle und Harnsammelrinne (BRAAM et al. 1997, STEINER et al. 2012, SCHRADE et al. 2017) oder einem planbefestigten Rillenboden (SWIERSTRA et al. 2001, ZÄHNER 2005, VDI 3894-1 2011) erreicht werden. Auch das Emissionsminderungspotenzial verschiedener Spaltenbodenaufgaben wird durch einen raschen Harnabfluss und zusätzlich durch eine Verminderung des Gasaustauschs zwischen Güllekanal und Stall erklärt (EURICH-MENDEN et al. 2018).

Ergänzend zu den baulichen Minderungsmaßnahmen können die Laufflächen befeuchtet (BRAAM et al. 1997, ZÄHNER und SCHRADE 2020) und die Entmistungshäufigkeit erhöht werden (EURICH-MENDEN et al. 2018). Durch eine Befeuchtung der Laufflächen vor dem Abschieben werden Schmier-schichten vermieden und ein besseres Reinigungsergebnis erzielt (ZÄHNER et al. 2017). Die Laufflächenbefeuchtung erfolgt über Vorrichtungen in der Liegeboxen- und der Fressstandkante bzw. Barrenmauer (TESTATE EIP-RIND o.J.) sowie bei geeigneter relativer Luftfeuchte über eine Kuhdusche (ZÄHNER und SCHRADE 2020, TESTATE EIP-RIND o.J.). Letztere senkt gleichzeitig die Hitzebelastung der Kühe (GASTEINER 2014). Durch eine häufige Entmistung wird gewährleistet, dass die Flächen sauber sind (ZÄHNER et al. 2005) und der Harn ungehindert abfließen kann (SCHRADE und STEINER 2012). EURICH-MENDEN et al. (2018) geben an, dass die Laufflächen zur Emissionsminderung mindestens alle zwei Stunden abgeschoben werden sollten. Bei 12 Entmistungsvorgängen pro Tag sind ferner positive Effekte auf die Sauberkeit der Klauen (ZÄHNER et al. 2019) und damit auf deren Gesundheit (HEINZ et al. 2011, SCHRADE et al. 2013) erkennbar.

Der Laufhof verursacht zusätzliche Emissionen in Höhe von $8 \text{ g NH}_3 \text{ m}^{-2} \text{ Tag}^{-1}$ (VDI 3894-1 2011). Eine Strukturierung des außenliegenden Laufhofs durch nicht überdachte Liegeboxen und zusätzliche Fressstände soll die emittierende Fläche verringern und so zur Emissionsminderung beitragen (TESTATE EIP-RIND o.J.). Auf dem strukturierten Laufhof können zusätzlich emissionsmindernde Laufflächenbeläge und stationäre Entmistungsschieber verbaut werden. Durch die Strukturierung kann der Laufhof außerdem, wie von VAN CAENEGAM und KRÖTZL MESSERLI (1997) empfohlen, in den Tagesablauf der Kühe einbezogen werden, indem die bei KERBRAT und DISENHAUSEN (2004) beschriebenen Verhaltensweisen (Laufen, Stehen, Liegen, Stehen in der Liegebox, Fressen und Saufen) auch im Außenbereich ermöglicht werden. Anderenfalls bleibt den Kühen i.d.R. nur wenig Zeit, den Laufhof zu nutzen (VAN CAENEGAM und KRÖTZL MESSERLI 1997). Die reduzierte Lauffläche je Tier auf strukturierten Laufhöfen geht dabei nicht mit Einbußen beim Tierwohl einher, da für dessen Beurteilung weniger die Größe der Fläche ausschlaggebend ist, als deren Attraktivität für die Kuh (VAN CAENEGAM und KRÖTZL MESSERLI 1997, SCHRADE et al. 2010).

Ziel der Pilotstudie war es, zunächst eine Methode zur Bewertung des NH_3 -Emissionspotenzials pro Milchkuh und Jahr bei kombiniertem Einsatz der oben beschriebenen Minderungsmaßnahmen im Liegeboxenlaufstall zu entwickeln und im zweiten Schritt exemplarisch das Emissionspotenzial eines EIP-Rind-Stalls zu bewerten.

Material und Methoden

Als Stallbeispiel wurde ein einhäusiger Liegeboxenlaufstall mit strukturiertem Laufhof gewählt, der gemäß den Förderbedingungen der AFP-Premiumförderung in Baden-Württemberg errichtet wurde. Im Rahmen des EIP-Projektes dürfen zu Untersuchungszwecken bis zu 25 % der erforderlichen Laufhöffläche von mindestens $4,5 \text{ m}^2 \text{ GV}^{-1}$ für ein Drittel der Milchkühe (VwV EINZELBETRIEBLICHE FÖRDERUNG 2014) strukturiert sein (MINISTERIUM FÜR LÄNDLICHEN RAUM UND VERBRAUCHERSCHUTZ, Stuttgart: persönliche Mitteilung am 13.12.2017). Für das Stallbeispiel verkleinert sich die nicht überdachte Lauffläche durch die Strukturierung von 19 % der Laufhöffläche von 248 m^2 auf 201 m^2 . Der Betrieb wird konventionell bewirtschaftet und stockte seinen Tierbestand im Zuge des Stallbaus von 81 (mittlere Bestandsgröße 2015–17) auf 165 Kühe auf. Der Stallgrundriss (Abbildung 1) gibt einen Überblick über die relevantesten NH_3 -Minderungsmaßnahmen des Stallbeispiels.

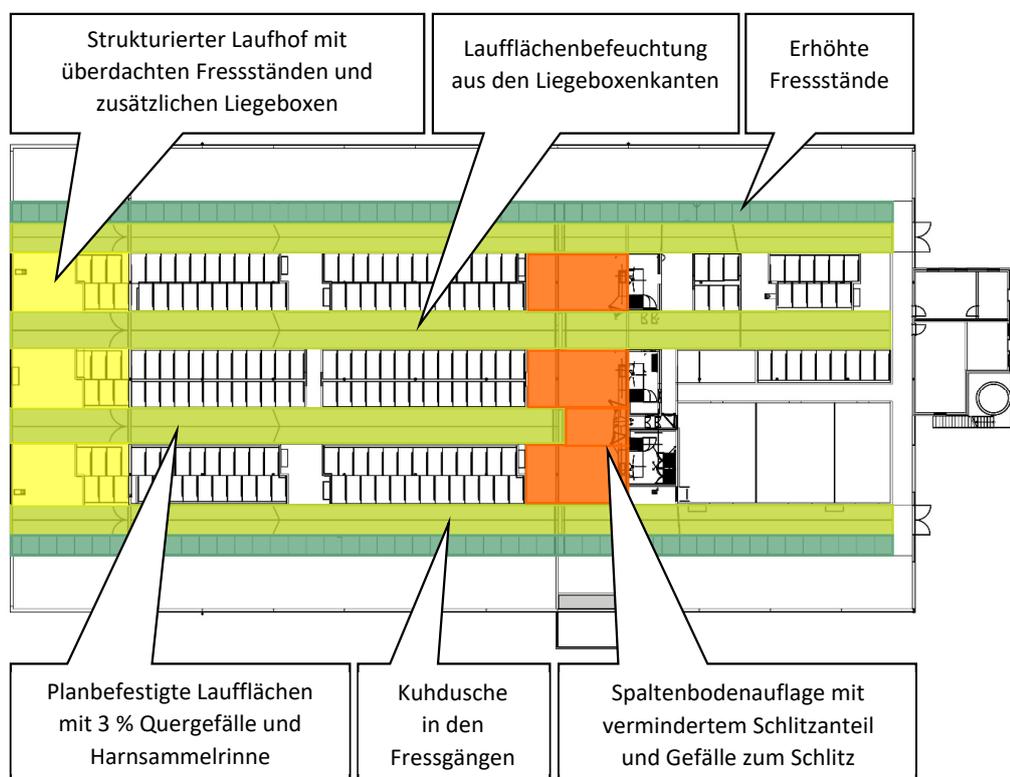


Abbildung 1: Grundriss des Stallbeispiels aus dem Projekt EIP-Rind inklusive Erläuterung der relevantesten Emissionsminderungsmaßnahmen

Die Emissionsminderungsmaßnahmen werden in Tabelle 1 verschiedenen, für die Bewertung erforderlichen Kategorien zugeordnet: „Reduktion emittierender Fläche“, „emissionsmindernde Laufflächen“ und „Begleitmaßnahmen“. Letztere fließen allerdings nicht direkt in die Bewertung ein, sondern werden flankierend als notwendig erachtet, um das kalkulierte Emissionspotenzial in der Praxis zu erreichen. Außerdem sind in Tabelle 1 die Nettoinvestitionskosten ausgewiesen, die zur Berechnung der Mehrkosten für die baulichen NH_3 -Minderungsmaßnahmen dienen. Diese wurden bei mehreren Unternehmen erfragt und sind als Richtpreise anzusehen, die je nach Stall, Standort und Lieferfirma variieren können. Die im Stallbeispiel rund um die Melkroboter eingesetzte Spaltenbodenauflage zeichnet sich durch einen um 28% verminderten Schlitzanteil und eine gewölbte Oberfläche mit einem Gefälle zum Schlitz hin aus. Da hierzu derzeit noch keine Untersuchungen auf Praxisbetrieben vorliegen, wurde das Emissionsminderungspotenzial konservativ auf 20% geschätzt.

Tabelle 1: Im Stallbeispiel eingesetzte baulich-technische NH₃-Minderungsmaßnahmen, deren NH₃-Minderungspotenzial bzw. -faktor sowie die dazugehörigen Nettoinvestitionskosten (FP: Fressplatz; lfm: laufender Meter, St: Stück)

Maßnahme	Minderungspotenzial	Minderungsfaktor	Investitionskosten (zzgl. MwSt. inkl. Montage)
Reduktion emittierender Fläche			
Erhöhter Fressstand (Laufstall)	15,5 % (berechnet auf Grundlage ZÄHNER et al. 2019)	0,845	186 €/FP (SEILER 2019a) ¹
Erhöhter Fressstand (Laufhof)	Ergibt sich aus der Reduktion der Lauffläche		186 €/FP (SEILER 2019a)
Nicht überdachte Liegeboxen (Laufhof)	Ergibt sich aus der Reduktion der Lauffläche		
bewegliches Betonpodest			613 €/St (GRÖBER 2019) ²
Trennbügel			329 €/St (GRÖBER 2019)
Liegebelag			123 €/m ² (GRÖBER 2019)
Emissionsmindernde Laufflächen			
Planbefestigter Boden mit 3 % Quergefälle und Harnsammelrinne	20 % (VDI 3894-1 2011)	0,8	
Harnrinne			66 €/lfm (HORNSTEIN 2018) ³
Gummimatte			72 €/m ² (GRÖBER 2019)
Emissionsmindernde Spaltenbodenauflage	20 % (Schätzung)	0,8	85 €/m ² (GRÖBER 2019)
Begleitmaßnahmen			
Laufflächenbefeuchtung	–	–	25 €/lfm (HORNSTEIN 2018)
Kuhdusche	–	–	60 €/lfm (SEILER 2019b) ⁴

1) persönliche Mitteilung am 18.02.2019

2) persönliche Mitteilung am 13.02.2019

3) persönliche Mitteilung am 28.12.2018

4) persönliche Mitteilung am 28.02.2019

Im Gegensatz zu den bisher entwickelten Methoden zur Modellierung der NH₃-Emissionspotenziale von Milchkuhlaufställen auf Betriebsebene (ROTZ et al. 2014, KUPPER 2018), deren Kalkulation von der ausgeschiedenen Menge an ammonifizierbarem Stickstoff (TAN) ausgeht, beruht die nun vorgestellte Methode auf den Emissionsfaktoren der VDI 3894-1 (2011). Diese basieren auf einer Expertenschätzung (EURICH-MENDEN et al. 2010) und betragen für den Liegeboxenlaufstall 14,57 kg NH₃ TP⁻¹ Jahr⁻¹ und für den Laufhof 8 g NH₃ m⁻² Tag⁻¹ (VDI 3894-1 2011). Bei Kombination mehrerer Minderungsmaßnahmen ist zu beachten, dass die Minderungspotenziale nicht in voller Höhe addiert werden können (VDI 3894-1 2011).

Vor diesem Hintergrund erschloss sich aus logischen Zusammenhängen folgende Annahme: Zunächst werden die NH₃-Emissionen aus dem Milchkuhlaufstall durch einen verminderten Harnstoffabsatz im Stall reduziert. Das verbliebene NH₃-Emissionspotenzial wird durch eine Reduktion der emittierenden Flächen verringert. Das anschließend verbliebene Emissionspotenzial wird wiederum durch die emissionsmindernden Eigenschaften der eingesetzten Maßnahmen auf den Flächen gemindert. Ausgehend von dieser Annahme ergab sich die Einteilung der Maßnahmen in Kategorien (Tabelle 1) sowie folgende Grundformel (Gleichung 1), die auf der Multiplikation des Emissionsfaktors mit den Minderungsfaktoren aller eingesetzten Maßnahmen beruht.

$$NH_3EP_{LS} \left[\frac{kg NH_3}{TP \times a} \right] = NH_3EF_{LS} \left[\frac{kg NH_3}{TP \times a} \right] \times MF_{RH} \times MF_{RF} \times MF_{EL} \quad (Gl. 1)$$

NH_3EP_{LS} : NH_3 -Emissionspotenzial Laufstall
 NH_3EF_{LS} : NH_3 -Emissionsfaktor Laufstall
 MF_{RH} : Minderungsfaktor „Reduktion des Harnstoffabsatzes im Stall“
 MF_{RF} : Minderungsfaktor „Reduktion emittierender Fläche“
 MF_{EL} : Minderungsfaktor „emissionsmindernde Laufflächen“

Zusätzlich zu den baulich-technischen Emissionsminderungsmaßnahmen, auf die sich diese Studie konzentriert, können neben der Laufflächenbefeuchtung und der Entmistungshäufigkeit weitere organisatorische Maßnahmen zur Minderung der NH_3 -Emissionen eingesetzt werden. Hier sind beispielsweise die N-angepasste Fütterung oder der Weidegang zu nennen (VDI 3894-1 2011). Beide Maßnahmen sind der Kategorie „Reduktion des Harnstoffabsatzes im Stall“ zuzuordnen, die der Vollständigkeit halber in der Grundformel (Gleichung 1) berücksichtigt wurde.

Zur Bewertung des Emissionspotenzials des strukturierten Laufhofs (Gleichung 2) wird der Emissionsfaktor für den Laufhof laut VDI 3894-1 (2011) verwendet. Einberechnet werden ausschließlich die nicht überdachten Laufflächen. Die Laufhoffläche reduziert sich demnach um die Fläche für die Liegeboxen und Fressstände. Da Untersuchungen zum Einsatz emissionsmindernder Böden auf dem Laufhof bisher fehlen, wurde die Annahme getroffen, dass die auf den Laufstall bezogenen Minderungspotenziale (Tabelle 1) zu 50% auf die Laufhoffläche übertragbar sind. Von einem geringeren Minderungspotenzial auf dem Laufhof wird aufgrund der emissionsfördernden Wirkung von direkter Sonneneinstrahlung (ZÄHNER et al. 2005) und erhöhten Windgeschwindigkeiten (BROSE et al. 1999, SCHRADE et al. 2011) ausgegangen.

$$NH_3EP_{sLH} \left[\frac{kg NH_3}{TP \times a} \right] = \frac{NH_3EF_{LH} \left[\frac{g NH_3}{m^2 \times d} \right] \times A_{L_{n\ddot{u}}} [m^2] \times 365 \times (1 - 0,5MP_{EL})}{TP [n] \times 1000} \quad (Gl.2)$$

NH_3EP_{sLH} : NH_3 -Emissionspotenzial strukturierter Laufhof
 NH_3EF_{LH} : NH_3 -Emissionsfaktor Laufhof
 $A_{L_{n\ddot{u}}}$: nicht überdachte Lauffläche
 MP_{EL} : Minderungspotenzial „emissionsmindernde Laufflächen“

Die NH_3 -Emissionspotenziale für Laufstall und Laufhof werden addiert und als jährliches NH_3 -Emissionspotenzial pro Milchkuh sowie als jährliches NH_3 -Gesamtemissionspotenzial des Milchkuhlaufstalls ausgewiesen. Sie stellen den Optimalfall dar und gelten unter der Voraussetzung, dass die notwendigen Begleitmaßnahmen wie folgt zur Anwendung kommen: Der Entmistungsschieber läuft mindestens 12-mal täglich und die Laufflächen werden vor der Entmistung zur Verbesserung des Reinigungsergebnisses befeuchtet. Einen Überblick über die entwickelte Methode zeigt Abbildung 2.

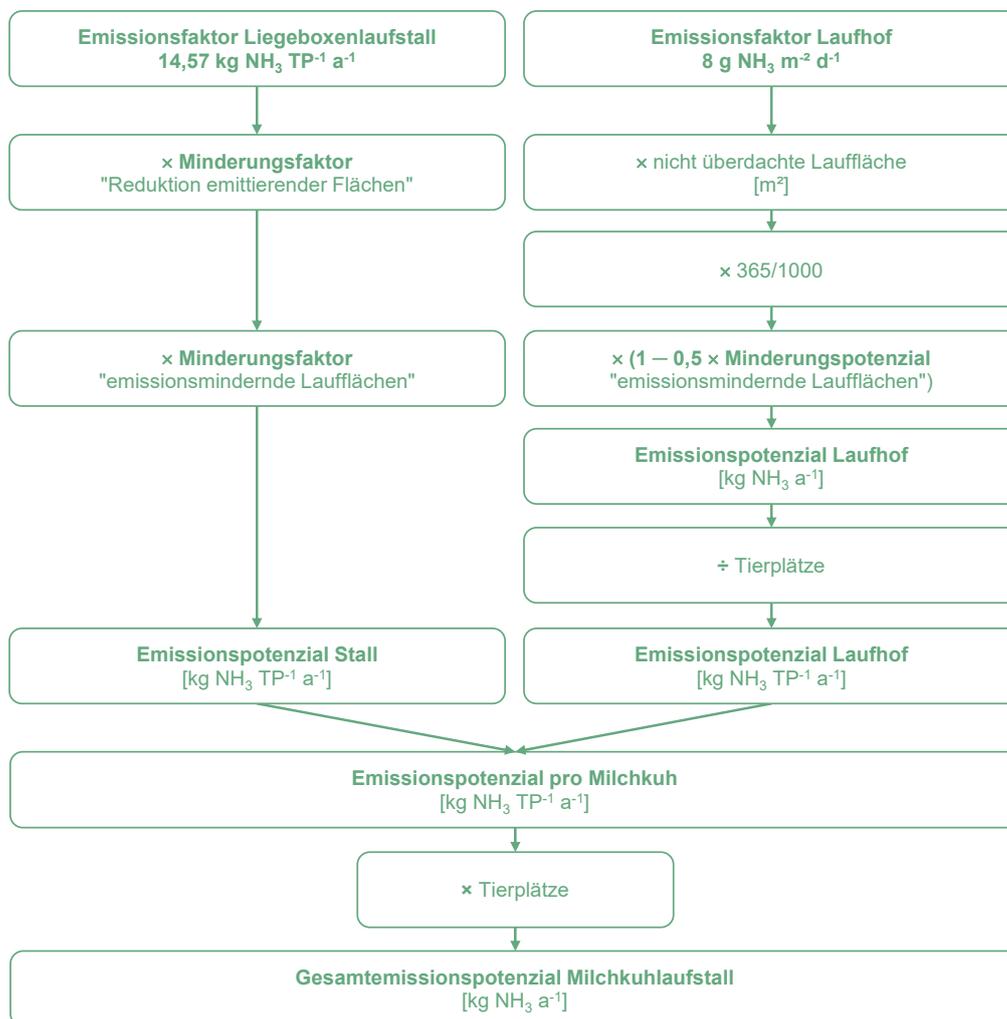


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Bewertung der NH₃-Emissionspotenziale von Liegeboxenlaufställen mit Laufhof unter Berücksichtigung baulich-technischer Maßnahmen zur Emissionsminderung

Verglichen wurden in der Pilotstudie die Emissionspotenziale der in Tabelle 2 erläuterten Verfahren. Der Emissionsfaktor für Liegeboxenlaufställe (VDI 3894-1 2011) entspricht dabei dem jährlichen NH₃-Emissionspotenzial pro Milchkuh für das *Standard*-Verfahren. Auch der bisher auf dem Beispielbetrieb bewirtschaftete Altstall zählt zum *Standard*-Verfahren ohne Emissionsminderungsmaßnahmen. Durch Einbau von erhöhten Fressständen und emissionsmindernden Laufflächen inkl. Laufflächenbefeuchtung kann er zum *StandardPLUS*-Stall nachgerüstet werden. Die Wahl fiel auf die Kombination der genannten Minderungsmaßnahmen, da es sich hierbei um dieselben Maßnahmen handelt, die auch im Stallgebäude des *AFP-PremiumPLUS*-Stalls zum Einsatz kommen. Zu Vergleichszwecken wurde das NH₃-Gesamtemissionspotenzial des *Standard*- und des nachrüstbaren *StandardPLUS*-Verfahrens für die mittlere Bestandsgröße der letzten drei Jahre auf dem Beispielbetrieb (81 Kühe) bewertet. Für das *AFP-Premium*- und *AFP-PremiumPLUS*-Verfahren erfolgte die Bewertung des Gesamtemissionspotenzials anhand der Tierplätze im neuen EIP-Stall (165 TP).

Tabelle 2: Vergleichsverfahren der Pilotstudie

Verfahren	Bezeichnung	Erläuterung
Standard ohne Emissionsminderungsmaßnahmen	<i>Standard</i>	Liegeboxenlaufstall
Standard mit Emissionsminderungsmaßnahmen	<i>StandardPLUS</i>	Liegeboxenlaufstall mit erhöhten Fressständen und emissionsmindernden Laufflächen sowie Vorrichtungen zur Laufflächenbefeuchtung
AFP-Premium ohne Emissionsminderungsmaßnahmen	<i>AFP-Premium</i>	Liegeboxenlaufstall mit Laufhof nach den AFP-Premiumanforderungen des Landes Baden-Württemberg Lauffloäche: $4,5 \text{ m}^2 \text{ GV}^{-1}$ für ein Drittel der Kühe (VWV EINZELBETRIEBLICHE FÖRDERUNG 2014)
AFP-Premium mit Emissionsminderungsmaßnahmen	<i>AFP-PremiumPLUS</i>	Stallbeispiel aus dem EIP-Projekt

Kalkuliert wurden für den *AFP-PremiumPLUS*-Stall auf dem Beispielbetrieb außerdem die Mehrkosten für die Investition und Montage der Minderungsmaßnahmen gegenüber den Investitionskosten für das Verfahren *AFP-Premium*. Inbegriffen sind auch die Begleitmaßnahmen zur Laufflächenbefeuchtung aus den Liegeboxenkanten sowie über die Kuhdusche. Bei allen angegebenen Preisen (Tabelle 1) handelt es sich um Nettopreise inklusive Montage. HORNSTEIN (persönliche Mitteilung am 28.12.2018) schlägt zu Kalkulationszwecken pauschal 25 % der Materialkosten für die Montage auf. Dieses Verfahren wurde übernommen, sofern von den beteiligten Firmen keine Angaben zu den Montagekosten gemacht wurden.

Ergebnisse

Jährliches NH_3 -Emissionspotenzial pro Milchkuh

Der *AFP-PremiumPLUS*-Milchkuhstall erreicht ein NH_3 -Emissionspotenzial von $13,05 \text{ kg NH}_3 \text{ TP}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Davon entfallen $9,85 \text{ kg NH}_3 \text{ TP}^{-1} \text{ a}^{-1}$ auf den Stall und $3,20 \text{ kg NH}_3 \text{ TP}^{-1} \text{ a}^{-1}$ auf den Laufhof. Das Emissionspotenzial kann trotz der zusätzlichen Emissionen vom Laufhof um $1,52 \text{ kg NH}_3 \text{ TP}^{-1} \text{ a}^{-1}$ gegenüber dem *Standard*-Verfahren gemindert werden. Gegenüber dem *AFP-Premium*-Verfahren kann das Ammoniakemissionspotenzial um $5,90 \text{ kg NH}_3 \text{ TP}^{-1} \text{ a}^{-1}$ reduziert werden. Allein das Minderungspotenzial des strukturierten *AFP-PremiumPLUS*-Laufhofs gegenüber dem *AFP-Premium*-Laufhof beträgt $1,18 \text{ kg NH}_3 \text{ TP}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Das entspricht aufgrund der eingesetzten emissionsmindernden Laufflächen einer Minderung um 27 % bei einer Reduktion der Laufflächen im Außenbereich um 19 % gegenüber den Förderbedingungen. Somit ist das Emissionspotenzial des *AFP-PremiumPLUS*-Verfahrens pro Tierplatz und Jahr sowohl geringer als das des *AFP-Premium*-Verfahrens, als auch geringer als das des *Standard*-Verfahrens. Aufgrund der Nachrüstung mit den Minderungsmaßnahmen erreicht das Verfahren *StandardPLUS* das geringste Emissionspotenzial pro Tierplatz und Jahr. Es liegt bei $9,85 \text{ kg NH}_3 \text{ TP}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Die NH_3 -Emissionspotenziale pro Tierplatz und Jahr sowie die Unterschiede zwischen den verschiedenen Verfahren sind in Abbildung 3 grafisch dargestellt. Die Berechnungen können anhand von Tabelle 3 nachvollzogen werden.

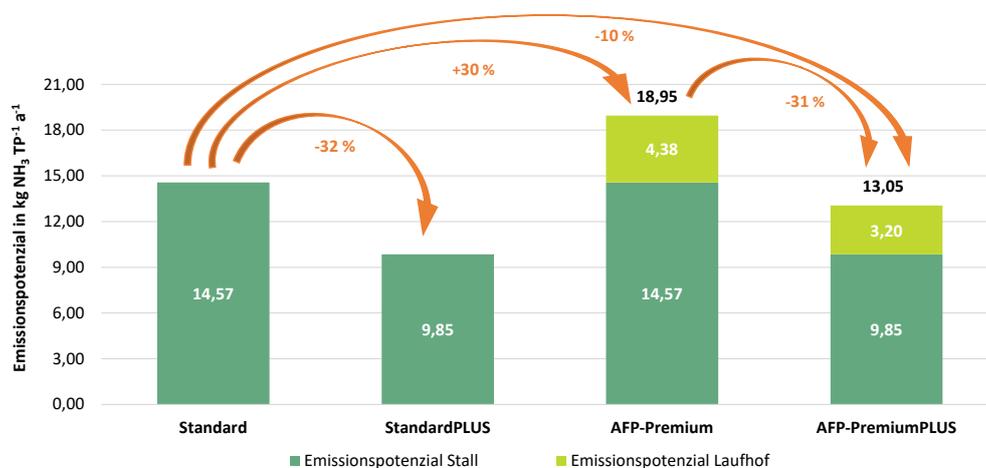


Abbildung 3: Jährliches NH₃-Emissionspotenzial pro Milchkuh für die bewerteten Verfahren, aufgeteilt nach den Emissionen aus dem Stall und vom Laufhof

Tabelle 3: Berechnung der NH₃-Emissionspotenziale pro Milchkuh

		Standard	StandardPLUS	AFP-Premium	AFP-PremiumPLUS
Emissionsfaktor Stall	kg NH ₃ TP ⁻¹ a ⁻¹	14,57	14,57	14,57	14,57
× Minderungsfaktor „Reduktion emittierender Fläche“		–	0,845	–	0,845
× Minderungsfaktor „emissionsmindernde Laufflächen“		–	0,8	–	0,8
= Emissionspotenzial Stall	kg NH₃ TP⁻¹ a⁻¹	14,57	9,85	14,57	9,85
Emissionsfaktor Laufhof	g NH ₃ m ⁻² d ⁻¹	8	8	8	8
× nicht überdachte Lauffläche	m ²	0	0	248	201
× (1 – 0,5 × Minderungspotenzial „emissionsmindernde Laufflächen“)		–	–	–	0,9
× Umrechnungsfaktor (g → kg; d → a)		0,365	0,365	0,365	0,365
÷ Anzahl der Tierplätze		81	81	165	165
= Emissionspotenzial Laufhof	kg NH₃ TP⁻¹ a⁻¹	0	0	4,38	3,20
Emissionspotenzial Stall	kg NH ₃ TP ⁻¹ a ⁻¹	14,57	9,85	14,57	9,85
+ Emissionspotenzial Laufhof	kg NH ₃ TP ⁻¹ a ⁻¹	0	0	4,38	3,20
= Emissionspotenzial pro Milchkuh	kg NH₃ TP⁻¹ a⁻¹	14,57	9,85	18,95	13,05

Jährliches NH₃-Gesamtemissionspotenzial des Milchkuhlaufstalls

Bei der durchschnittlichen Bestandsgröße von 81 Milchkühen in den letzten drei Jahren lag das Gesamtemissionspotenzial des *Standard*-Verfahrens auf dem Beispielbetrieb bei 1180 kg NH₃ a⁻¹. Würden in diesem Stall die emissionsmindernden Laufflächen und die erhöhten Fressstände nachgerüstet, so würde das jährliche Gesamtemissionspotenzial um 32% auf 798 kg NH₃ sinken. Ohne das Gesamtemissionspotenzial des *Standard*-Verfahrens zu überschreiten, könnten in einem solchen

StandardPLUS-Stall bei entsprechender Erweiterung bis zu 120 Kühe gehalten werden. Das entspricht einer Bestandsaufstockung um 39 Milchkühe (48%). Das jährliche Emissionspotenzial pro Milchkuh im *AFP-PremiumPLUS*-Stall würde eine geringe Aufstockung des Tierbestandes um 9 Milchkühe ermöglichen ohne das jährliche Gesamtemissionspotenzial des *Standard*-Verfahrens zu überschreiten. Die Aufstockung um 84 auf 165 Kühe im Rahmen des EIP-Projekts führt hingegen zu einem um 83% (974 kg NH₃) höheren Gesamtemissionspotenzial in Höhe von 2.154 kg NH₃ a⁻¹. Um jährlich weitere 973 kg NH₃ (54%) höher wäre das Gesamtemissionspotenzial des *AFP-Premium*-Stalls. Mit einem Gesamtemissionspotenzial von 3.127 kg NH₃ a⁻¹ würde das Gesamtemissionspotenzial des *Standard*-Stalls mit einem *AFP-Premium*-Stall und einer Bestandsgröße von 165 Kühen um 165 % überschritten (1947 kg NH₃ a⁻¹). Um dem vorzubeugen, wäre eine Bestandsreduktion auf 62 Kühe erforderlich. Abbildung 4 verdeutlicht diese Zusammenhänge.

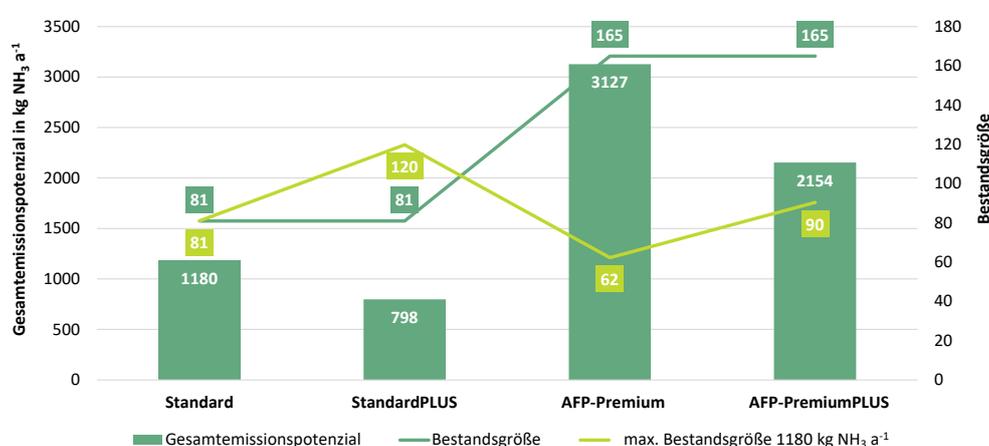


Abbildung 4: Jährliches NH₃-Gesamtemissionspotenzial der bewerteten Verfahren in Abhängigkeit von der Bestandsgröße sowie Angabe der maximalen Bestandsgröße, bei der das Gesamtemissionspotenzial des Standard-Stalls (1.180 kg NH₃ a⁻¹) im jeweiligen Verfahren nicht überschritten würde

Investitionskosten

Die Nettoinvestitionskosten für die emissionsmindernden Laufflächenbeläge, die Laufflächenbefeuchtung, die Kuhdusche, die erhöhten Fressstände und die zusätzlichen Liegeboxen auf dem Laufhof belaufen sich für das Stallbeispiel *AFP-PremiumPLUS* auf 152.567 €. Dieser Betrag stellt die Mehrkosten gegenüber dem Vergleichsverfahren *AFP-Premium* dar. Pro Tierplatz und kg NH₃-Minderung sind das 157 €. Die Berechnung lässt sich anhand von Tabelle 4 nachvollziehen.

Tabelle 4: Nettoinvestitionskosten der baulich-technischen Emissionsminderungsmaßnahmen inkl. Montage für den *AFP-PremiumPLUS*-Stall auf dem Beispielbetrieb

Summe der Nettoinvestitionskosten für die baulich-technischen NH ₃ -Minderungsmaßnahmen	€	152.567
Anzahl Tierplätze	n	165
Nettoinvestitionskosten	€ TP ⁻¹	925
Emissionsminderung gegenüber einem Liegeboxenlaufstall nach AFP-Premiumanforderungen	kg NH ₃ TP ⁻¹ a ⁻¹	5,90
Nettoinvestitionskosten	€ TP ⁻¹ kg NH ₃ -Minderung ⁻¹	157

Diskussion

Methodisches Vorgehen

Die erarbeitete Methode stellt einen ersten Ansatz zur Bewertung des betriebsindividuellen NH_3 -Emissionspotenzials bei Kombination mehrerer NH_3 -Minderungsmaßnahmen im Milchkuhlaufstall dar. Kennzeichnend ist die Einteilung der Minderungsmaßnahmen in die vier Kategorien „Reduktion des Harnstoffabsatzes im Stall“, „Reduktion emittierender Fläche“, „emissionsmindernde Laufflächen“ und „Begleitmaßnahmen“. Letztere nehmen eine Sonderstellung ein, da sie das Ergebnis der Bewertung derzeit nicht direkt beeinflussen. Die anderen drei Kategorien orientieren sich am Weg des Stickstoffs von der Futteraufnahme und Ausscheidung („Reduktion des Harnstoffabsatzes im Stall“) über die Größe der durch Exkremate verschmutzten Fläche („Reduktion emittierender Fläche“) bis hin zur Verminderung der enzymatischen Harnstoffspaltung auf den Flächen durch die Ableitung des Harns („emissionsmindernde Laufflächen“). Die Multiplikation der Minderungsfaktoren erwies sich als geeignet, da sie die gegenseitige Beeinflussung der Minderungspotenziale der einzelnen Maßnahmen abbilden kann: Das Minderungspotenzial jeder einzelnen Maßnahme sinkt mit der steigenden Anzahl an eingesetzten Maßnahmen. Zu den weiteren Vorteilen der Methode zählt darüber hinaus, dass sie unabhängig von den derzeit gültigen Emissionsfaktoren sowie den Minderungspotenzialen einzelner Maßnahmen ist, sodass diese jederzeit ausgetauscht werden können, solange sie sich nicht grundlegend ändern (z. B. hinsichtlich des Bezugs auf den Tierplatz).

Hinsichtlich der Kombinationswirkung von Minderungsmaßnahmen im Bereich der Rinderhaltung besteht derzeit eine Forschungslücke. Die hier vorgeschlagene Methode bietet daher Potenzial für die Entwicklung eines einheitlichen Standards, der auf weitere Tierarten und Produktionsrichtungen übertragen werden könnte. In den Niederlanden ist man diesen Schritt bereits gegangen: Das Vorgehen bei Maßnahmenkombination in der Schweinehaltung laut Anhang 3 der niederländischen Rav-Liste (INFOMIL o. J.) ist vergleichbar zur hier vorgestellten Methode.

Entwickelt wurde die Methode zur Bewertung der Ammoniakemissionspotenziale für Deutschland auf Basis der Emissionsfaktoren nach VDI 3894-1 (2011). Diese stellen laut KTBL (2013) eine wesentliche Grundlage für die Beurteilung der Umweltwirkung von Stallbauvorhaben in Genehmigungsverfahren dar. Für die Milchkuhhaltung wurden die Minderungspotenziale in dieser Studie tendenziell konservativ angesetzt. Beispielsweise werden in den Niederlanden Minderungspotenziale für Laufflächenbeläge mit bis zu 60% angegeben (EURICH-MENDEN et al. 2018), während hier mit maximal 20% kalkuliert wurde. Auch das Vorgehen, die Minderungspotenziale bei Einsatz der Maßnahmen auf dem Laufhof aufgrund mangelnder Datenlage zu halbieren, kann als konservativ bezeichnet werden. Damit wird einer Unterschätzung des NH_3 -Emissionspotenzials vorgebeugt. Nicht geklärt ist, wie beim Einsatz mehrerer Maßnahmen einer Kategorie mit unterschiedlichen Minderungspotenzialen vorzugehen wäre. Im Falle unterschiedlicher Bodenausführungen innerhalb eines Stalls könnten beispielsweise der Flächenanteil einer Bodenausführung oder eine unterschiedlich lange Aufenthaltsdauer der Tiere in den Bereichen mit den verschiedenen Böden berücksichtigt werden. Für das Stallbeispiel war dies nicht relevant, da zwar zwei verschiedene Laufflächen zum Einsatz kommen, diese jedoch mit demselben Minderungspotenzial in Höhe von 20% einkalkuliert wurden. So konnte pauschal mit einem Minderungsfaktor von 0,8 für die Kategorie „emissionsmindernde Laufflächen“ gerechnet werden. Analog zu den Minderungsfaktoren war es geplant, auch Aufschläge, etwa für größere verschmutzte Flächen pro Tier, zu berücksichtigen. Da es sich beim verwendeten Emissions-

faktor (VDI 3894-1 2011) um einen auf den Tierplatz bezogenen Konventionswert handelt, dem keine Flächenangabe zugrunde liegt, war dies jedoch nicht möglich. Mit einem flächenbezogenen Emissionsfaktor für den Liegeboxenlaufstall könnten individuelle Stallbaulösungen besser beurteilt werden. Auch Abweichungen im Management könnten über Zu- und Abschläge einkalkuliert werden, sobald entsprechende Forschungsergebnisse vorliegen.

Ergebnisse der Pilotstudie

Ziel des Projekts EIP-Rind ist es, gesteigerte Anforderungen an das Tierwohl und die Emissionsminderung zu vereinbaren. Dies kann das Stallbeispiel *AFP-PremiumPLUS* der Bewertung zufolge erreichen. Das Minderungspotenzial pro Tierplatz und Jahr ist so hoch, dass das zusätzliche Emissionspotenzial vom Laufhof nicht nur kompensiert wird, sondern der Emissionsfaktor für den *Standard*-Liegeboxenlaufstall selbst in der Summe aus Stall- und Laufhofemissionen unterschritten wird. Es sollte dabei beachtet werden, dass die Emissionspotenziale vom Management auf dem einzelnen Betrieb abhängen (WULF et al. 2017) und die hier angegebenen Emissionspotenziale ausschließlich bei einer mindestens 12-mal täglichen Entmistung der Laufflächen mit vorheriger Laufflächenbefeuchtung gelten.

Die Strukturierung erwies sich als sinnvolle Minderungsmaßnahme der Emissionen vom Laufhof. In Kombination mit den emissionsmindernden Laufflächen ergibt sich ein schlüssiges Konzept, dessen Minderungspotenzial gegebenenfalls sogar höher ausfallen könnte, als in dieser Pilotstudie berechnet. Der Grund hierfür liegt im konservativen Ansatz der Minderungspotenziale. Die Anrechnung der Lauffläche des strukturierten Laufhofes und damit der emittierenden Fläche anstelle der Multiplikation der Gesamtfläche mit dem Emissionsfaktor folgt dem Grundsatz, dass nicht die Größe der Fläche relevant ist, sondern deren verschmutzter Anteil (SCHRADER et al. 2013).

Unterschritten werden könnten sowohl das jährliche Emissionspotenzial pro Milchkuh als auch das jährliche Gesamtemissionspotenzial des Milchkuhlaufstalls im Verfahren *AFP-PremiumPLUS* bei Verzicht auf den Laufhof. Diese Variante entspricht dann einem *StandardPLUS*-Stall, für den das höchste Minderungspotenzial kalkuliert wurde. Auch durch die Nachrüstung eines *Standard*-Stalls kann das geringere Emissionspotenzial eines *StandardPLUS*-Stalls erreicht werden. Einige Laufflächenbeläge sind laut Hersteller zur Nachrüstung geeignet. Auch die problemlose Nachrüstung erhöhter Fressstände konnte von BENZ et al. (2017) bestätigt werden.

Eine Minderung des Gesamtemissionspotenzials des Stallbeispiels *AFP-PremiumPLUS* war aufgrund der Bestandsaufstockung im Rahmen des Neubaus nicht darstellbar, obwohl davon ausgegangen wird, dass das Emissionspotenzial pro Tierplatz und Jahr durch die eingesetzten Minderungsmaßnahmen sinkt. Hier zeigt sich, dass neben dem Emissionspotenzial pro Tierplatz und Jahr die Bestandsgröße ausschlaggebend ist. Der durch eine rückläufige Anzahl an Milchviehbetrieben gekennzeichnete Strukturwandel (STATISTISCHES LANDESAMT BADEN WÜRTTEMBERG 2019) kommt daher den Betrieben zugute, die wachsen wollen bzw. müssen, um Investitionen tätigen zu können. Solange durch eine Emissionsminderung mangels entsprechender Siegel (VERBRAUCHERZENTRALE 2019) bzw. Labelprogramme keine höheren Erzeugerpreise erzielt werden können, so wie es bei einer Steigerung des Tierwohls möglich wäre (BMEL 2019), ist der Verzicht auf eine Bestandsaufstockung oder gar eine Abstockung im Zuge des Stallbaus aus betriebswirtschaftlicher Sicht in der Regel nicht möglich.

Der Nutzen der zusätzlichen Maßnahmen wird in dieser Studie vollständig der Emissionsminderung zugeschrieben. Tatsächlich müsste jedoch ein Teil der Kosten der Steigerung des Tierwohls

angerechnet werden (WULF et al. 2011). Synergieeffekte könnten sich beispielsweise durch eine Verbesserung der Klauensauberkeit (SCHRADE et al. 2013, ZÄHNER et al. 2019) und einer damit potenziell einhergehenden Steigerung der Klauengesundheit ergeben.

Ausblick

Das höchste Minderungspotenzial wurde für das *StandardPLUS*-Verfahren kalkuliert. Das Potenzial der Emissionsminderungsmaßnahmen könnte deshalb besonders effektiv genutzt werden, wenn die Minderungsmaßnahmen nicht nur bei Neubauten, sondern außerdem im Bestand Praxisverbreitung fänden. Dazu könnten beispielsweise finanzielle Anreize in Form von Förderprogrammen beitragen. In diesem Zuge wäre die Förderung v. a. solcher Minderungsmaßnahmen anzustreben, die zur Steigerung des Tierwohls bzw. der Tiergesundheit beitragen und in bestehenden Ställen nachgerüstet werden können. Würden nur 10% der knapp 328.000 Milchkühe in Baden-Württemberg (STATISTISCHES LANDESAMT BADEN WÜRTTEMBERG 2019) in einem *StandardPLUS*-Stall gehalten, könnte der vorgeschlagenen Bewertungsmethode folgend das Emissionspotenzial gegenüber der Haltung aller baden-württembergischen Kühe in *Standard*-Ställen um knapp 155.000 kg NH₃ a⁻¹ gesenkt werden. Im Hinblick auf den Strukturwandel hin zu immer weniger, dafür aber größeren Betrieben bei einer insgesamt nur leicht sinkenden Gesamtanzahl an Milchkühen in Baden-Württemberg (STATISTISCHES LANDESAMT BADEN WÜRTTEMBERG 2019) könnten wachsende Betriebe außerdem über eine „emissionsneutrale“ Lösung zur Bestandsaufstockung (NIELINGER: persönliche Mitteilung beim Fachtreffen EIP-Rind am 20.03.2018 in Aulendorf, internes Referat der iMA Richter & Röckle zum Thema „N-Deposition in der Genehmigungspraxis“) dazu beitragen, einer Erhöhung der Umweltwirkungen im Nahbereich der Emissionsquelle vorzubeugen. Diese wäre durch die lokale Wirkung des Ammoniaks (MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA, und ENERGIEWIRTSCHAFT BADEN-WÜRTTEMBERG 2017) begründet. Der emissionsneutrale Ansatz zielt darauf ab, durch den Einsatz von Minderungsmaßnahmen die NH₃-Gesamtemissionen trotz Neu- oder Umbau zu verringern bzw. maximal auf gleichem Niveau zu halten (NIELINGER: persönliche Mitteilung beim Fachtreffen EIP-Rind am 20.03.2018 in Aulendorf, internes Referat der iMA Richter & Röckle zum Thema „N-Deposition in der Genehmigungspraxis“).

In den im Projekt EIP-Rind errichteten Ställen werden – zusätzlich zu den vorgestellten – weitere Maßnahmen mit möglichen emissionsmindernden Eigenschaften eingesetzt (TESTATE EIP-RIND o. J.). Diese wurden jedoch nicht in der Bewertung berücksichtigt, da derzeit Forschungsbedarf hinsichtlich deren Minderungspotenzials besteht. Dazu zählen etwa Gründächer, die die Stalltemperatur laut SIMON et al. (2018) um 2–3 °C gegenüber der Außentemperatur senken und die Temperaturspitzen um 2–3 Stunden nach hinten verschieben können, sowie flexible Beschattungseinrichtungen auf den Laufhöfen. Auch integrierte Laufhöfe kommen bei einigen mehrhäusigen Stallbauten zum Einsatz. Diese können laut VDI 3894-1 (2011) bei teilweiser Überdachung des Laufhofs der Emissionsminderung dienen.

Schlussfolgerungen

Der hier vorgeschlagene Ansatz zur Bewertung der Ammoniakemissionspotenziale innovativer Milchkuhlaufställe bei Kombination mehrerer Emissionsminderungsmaßnahmen basiert auf der Multiplikation von Minderungsfaktoren. Aufgrund der logisch aufgebauten Herangehensweise bei konservativem Ansatz der Minderungsfaktoren bietet die Methode Potenzial für die Entwicklung eines einheitlichen Standards, der in der Praxis beispielsweise dazu dienen könnte, das Minderungs-

potenzial einer Maßnahmenkombination in Genehmigungsverfahren zu begründen. Getestet wurde die Anwendung der Methode in dieser Pilotstudie. Hierbei zeigte sich, dass durch den Bau von entsprechend geplanten Milchkuhlaufställen das Ammoniakemissionspotenzial pro Tierplatz und Jahr sogar dann gegenüber *Standard*-Ställen verringert werden könnte, wenn höhere Tierwohlstandards erfüllt werden (*AFP-PremiumPLUS*). Die Ergebnisse lassen daher den Schluss zu, dass sich der Zielkonflikt zwischen Emissionsminderung und Tierwohl durch den Einsatz entsprechender Emissionsminderungsmaßnahmen teilweise auflösen lässt. Dies ist von Praxisrelevanz, da Synergieeffekte zum Tierwohl die hohen Investitionskosten für die Minderungsmaßnahmen relativieren. Zu klären bleibt die Frage nach der zukünftigen Finanzierung der Emissionsminderungsmaßnahmen dennoch. Diese Fragestellung wird mutmaßlich nicht nur Einfluss auf die Verbreitung der Minderungsmaßnahmen nehmen, sondern auch auf die Bestandsgrößenentwicklung investierender Betriebe und damit auf deren Gesamtemissionspotenzial.

Literatur

- Benz, B.; Ehrmann, S.; Richter, T. (2014): Der Einfluss erhöhter Fressstände auf das Fressverhalten von Milchkühen. *Landtechnik* 69(5), S. 232–238, <http://dx.doi.org/10.15150/lt.2014.615>
- Benz, B.; Braun, L.; Zinsel, D. (2017): Untersuchungen zum Verhalten und der Milchleistung von Milchkühen in einem AMS-Betrieb mit nachgerüsteten erhöhten Fressständen. In: 13. Tagung: Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung, VDI, KTBL, EurAgEng, 18.-20.09.2017, Stuttgart-Hohenheim, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., S. 106-111
- Braam, C.R.; Smits, M.C.J.; Gunnink, H.; Swierstra, D. (1997): Ammonia Emission from a Double-Sloped Solid Floor in a Cubicle House for Dairy Cows. *Journal of Agricultural Engineering Research* 68(4), S. 375-386, <https://doi.org/10.1006/jaer.1997.0215>
- Braam, C.R.; Swierstra, D. (1999): Volatilization of Ammonia from Dairy Housing Floors with Different Surface Characteristics. *Journal of Agricultural Engineering Research* 72(1), S. 59-69, <https://doi.org/10.1006/jaer.1998.0345>
- Brose, G.; Hartung, E.; Jungbluth, T. (1999): Einflüsse auf und Messung von Emissionen von Ammoniak und klimarelevanten Gasen aus einem frei belüfteten Milchviehstall. In: 4. Internationale Tagung Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung, 09.03.-10.03.1999, Freising-Weihenstephan, S. 63-68
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL, 2019): Nutztierstrategie. <https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/Nutztierhaltungsstrategie.html>, Zugriff am 14.03.2020
- EIP-Rind (2019): Erhöhte Fressstände. *BauDetails* Nr. 3, https://www.eip-rind.de/docs/3_Fressstaende.pdf, Zugriff am 08.02.2020
- Eurich-Menden, B.; Döhler, H.; Van den Weghe, H. (2010): Ammoniakemissionsfaktoren im landwirtschaftlichen Emissionsinventar – Teil 1: Milchvieh. *Landtechnik* 65(6), S. 434–436, <https://doi.org/10.15150/lt.2010.542>
- Eurich-Menden, B.; Grimm, E; Wulf, S. (2018): Emissionsminderung Rinderhaltung – Möglichkeiten und Grenzen. In: Milchviehhaltung - Lösungen für die Zukunft. In: Landtechnisch-bauliche Jahrestagung. LfL, ALB Bayern, LKV Bayern und Tiergesundheitsdienst Bayern, 28. November 2018, Grub, Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft 7/2018, S. 89-96, <https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/schriftenreihe/milchviehhaltung-ilt-jahrestagung-2018-lfl-schriftenreihe.pdf>, Zugriff am 08.02.2020
- Gasteiner, J. (2014): Hitzestress bei Milchkühen. In: Nutztierschutztagung Raumberg-Gumpenstein 2014, Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, 15. Mai 2014, Irdning, LFZ Raumberg-Gumpenstein, S. 25-28, <https://www.raumberg-gumpenstein.at/cm4/de/forschung/publikationen/downloadsveranstaltungen/finish/1905-nutztierschutztagung-2014/16744-nutztierschutztagung-2014-tagungsband-gesamt.html>, Zugriff am 08.02.2020

- Heinz, S.; Kanswohl, N.; Römer, A. (2011): Einfluss differenzierter Haltungsbedingungen auf die Klauengesundheit von Milchkühen. *Züchtungskunde* 83 (6), S. 385–395, https://www.zuechtungskunde.de/artikel.dll/heinz-et-al_NjA4OTkyOQ.PDF, Zugriff am 01.03.2020
- InfoMil (o.J.): Bijlage 3: Rekenmethode reductiepercentage. <https://www.infomil.nl/onderwerpen/landbouw/ammoniak/rav-0/bijlage-3/>, Zugriff am 07.03.2020
- Kerbrat, S.; Disenhaus, C. (2004): A proposition for an updated behavioural characterisation of the oestrus period in dairy cows. *Applied Animal Behaviour Science* Volume 87 (3–4), S. 223–238, <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2003.12.001>
- Kupper, T. (2018): Technische Parameter Modell Agrammon. Tierkategorien, Stickstoffausscheidungen der Tiere, Emissionsraten, Korrekturfaktoren. <https://agrammon.ch/assets/Downloads/Technische-Parameter-20180925.pdf>, Zugriff am 08.02.2020
- Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL, 2013): Vorgehensweise zur Ermittlung repräsentativer Emissionsfaktoren – Messprotokoll für offene Stallsysteme – Beispiel Milchviehstall. https://www.ktbl.de/fileadmin/user_upload/Allgemeines/Download/EmiDaT/Messprotokoll-Offenstall.pdf, Zugriff am 08.02.2020
- Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (2017): Reaktiver Stickstoff in der Atmosphäre von Baden-Württemberg. Interimskarten der Ammoniakkonzentration und der Stickstoffdeposition (Depositionsbericht 2017). <https://fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/121207/?COMMAND=DisplayBericht&FIS=91063&OBJECT=121207&MODE=METADATA>, Zugriff am 29.03.2020
- Monteny, G.J.; Erisman, J.W. (1998): Ammonia emission from dairy cow buildings: a review of measurement techniques, influencing factors and possibilities for reduction. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 46, S. 225–247, <https://doi.org/10.18174/njas.v46i3.481>
- 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, <http://data.europa.eu/eli/dir/2016/2284/oj>, Zugriff am 08.02.2020
- Rotz, A.; Montes, F.; Hafner, S.D.; Heber, A.J.; Grant, R.H. (2014): Ammonia Emission Model for Whole Farm Evaluation of Dairy Production Systems. *Journal of Environmental Quality* 43, S. 1143–1158, 10.2134/jeq2013.04.0121
- Schrade, S.; Korth, F.; Keck, M.; Zeyer, K.; Emmenegger, L.; Hartung, E. (2010): Tieraufenthalt, Laufflächenverschmutzung und Ammoniakemissionen bei Milchviehställen mit Laufhof. In: 24. IGN-Tagung – Nachhaltigkeit in der Wiederkäuer- und Schweinehaltung, Art-Tagungsband IGN 24, Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, 3.–5. Juni 2010, Tänikon, S. 48–52, <http://link.ira.agroscope.ch/de-CH/publication/21574>, Zugriff am 03.05.2020
- Schrade, S.; Keck, M.; Zeyer, K.; Emmenegger, L. (2011): Ammoniak-Emissionen von Milchviehlaufställen mit Laufhof: Im Winter weniger Verluste. ART-Bericht 745. <http://link.ira.agroscope.ch/de-CH/publication/27136>, Zugriff am 03.05.2020
- Schrade, S.; Steiner, B. (2012): Rascher Harnabfluss reduziert Ammoniak. *UFA-REVUE* 10, S. 36–38, <http://link.ira.agroscope.ch/de-CH/publication/30419>, Zugriff am 03.05.2020
- Schrade, S.; Steiner, B.; Keck, M. (2013): Ammoniakemissionen aus Milchviehställen und Maßnahmen zur Minderung. In: Bautagung Raumberg-Gumpenstein 2013, Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, 15.–16.5.2013, Irdning, S. 33–40, ISBN: 978-3-902559-94-4, <http://link.ira.agroscope.ch/de-CH/publication/31856>, Zugriff am 03.05.2020
- Schrade, S.; Poteko, J.; Zeyer, K.; Mohn, J.; Zähler, M. (2017): Planbefestigte Laufflächen mit Quergefälle und Harnsammelrinne: Erste Ergebnisse zu Ammoniak-Emissionen bei Winterbedingungen. In: 13. Tagung: Bau, Technik und Umwelt 2017 in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung, Max-Eyth-Gesellschaft Agrartechnik im VDI (VDI-MEG), Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Europäische Gesellschaft landwirtschaftlicher Ingenieure (EurAgEng), 18.–20. September 2017, Stuttgart-Hohenheim, KTBL, S. 370–375

- Simon, J.; Bauhofer, B.; Geischeder, S.; Oberhardt, F.; Stötzel, P. (2018): Sommerlicher Hitzeschutz und Außenklimareize – Besondere Herausforderungen an den Bau eines Milchviehstalles. In: Milchviehhaltung – Lösungen für die Zukunft. Landtechnisch-bauliche Jahrestagung. LfL, ALB Bayern, LKV Bayern und Tiergesundheitsdienst Bayern, 28. November 2018, Grub, Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft 7/2018, S. 61-88, <https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/schriftenreihe/milchviehhaltung-ilt-jahrestagung-2018-lfl-schriftenreihe.pdf>, Zugriff am 08.02.2020
- Snoek, D.; Stigter, J.D.; Ogink, N.W.M.; Groot Koerkamp, P.W.G. (2014): Sensitivity analysis of mechanistic models for estimating ammonia emission from dairy cow urine puddles. *Biosystems Engineering* 121, S. 12–24, <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2014.02.003>
- Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2019): Rinderbestände und Rinderhaltungen nach Rinderkategorie. <https://www.statistik-bw.de/Landwirtschaft/Viehwirtschaft/Rinder.jsp>, Zugriff am 29.03.2020
- Steiner, B.; Keck, M.; Keller, M.; Weber, K. (2012): Vergleich des Abflussverhaltens auf planbefestigten Laufflächenbelägen in Rinderställen. *Agrarforschung Schweiz* 3(5), S. 258-263, https://www.agrarforschungschweiz.ch/aktuelles_heft_10de.php?id_artikel=1771, Zugriff am 08.02.2020
- Swierstra, D.; Braam, C. R.; Smits, M. C. (2001): Grooved Floor System for Cattle Housing: Ammonia Emission Reduction and Good Slip Resistance. *Applied Engineering in Agriculture* 17(1), S. 85-90, <https://edepot.wur.nl/198524>, Zugriff am 20.07.2020
- Testate EIP-Rind (o.J.): https://eip-rind.de/betriebe_uebersicht.php?kategorie=Milchvieh_Neubau, Zugriff am 12.02.2020
- Umweltbundesamt (UBA, 2018): Umwelt und Landwirtschaft, Daten zur Umwelt. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/daten-zur-umwelt-2018-umwelt-landwirtschaft>, Zugriff am 08.02.2020
- Van Caenegam, L.; Krötzel Messerli, H. (1997): Der Laufhof für den Milchvieh-Laufstall – Ethologische und bauliche Aspekte, FAT-Bericht Nr. 493, https://www.blv.admin.ch/dam/blv/de/dokumente/tiere/nutztierhaltung/info-agroscope/laufhof-milchvieh-laufstall.pdf.download.pdf/Der_Laufhof_fuer_den_Milchvieh-Laufstall_FAT_Bericht_1997.pdf, Zugriff am 08.02.2020
- VDI 3894-1 (2011): Emissionen und Immissionen aus Tierhaltungsanlagen, Haltungsverfahren und Emissionen, Schweine, Rinder, Geflügel, Pferde, Stand 2016-11
- Verbraucherzentrale (2019): Lebensmittel: Zahlen, Zeichen, Codes und Siegel. Stand: 27.06.2019, <https://www.verbraucherzentrale.de/wissen/lebensmittel/kennzeichnung-und-inhaltsstoffe/lebensmittel-zahlen-zeichen-codes-und-siegel-8382>, Zugriff am 14.03.2020
- VwV einzelbetriebliche Förderung (2014): Verwaltungsvorschrift des Ministeriums für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz zur einzelbetrieblichen Förderung landwirtschaftlicher Unternehmen (VwV einzelbetriebliche Förderung) vom 19. Mai 2014 – Az.: 27-8510.00 –, <http://www.landesrecht-bw.de/jportal/?quelle=jlink&query=VVBW-MLR-20150429-SF&psml=bsbawueprod.psml&max=true&aiz=true>, Zugriff am 08.02.2020
- Wissenschaftlicher Beirat Agrarpolitik beim BMEL (WBA, 2015): Wege zu einer gesellschaftlich akzeptierten Nutztierhaltung. Kurzfassung des Gutachtens. https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Ministerium/Beiraete/Agrarpolitik/GutachtenNutztierhaltung-Kurzfassung.pdf?__blob=publicationFile, Zugriff am 08.02.2020
- Wulf, S.; Rössler, R.; Vandr , R.; Eurich-Menden, B.; Döhler, H. (2011): Kosten der Minderung von Ammoniakemissionen. In: Emissionen der Tierhaltung – Treibhausgase, Umweltbewertung, Stand der Technik, KTBL-Tagung, 6.–8.12.2011, Kloster Banz, KTBL-Schrift 491, S. 279-290
- Wulf, S.; Rösemann, C.; Eurich-Menden, B.; Grimm, E. (2017): Ammoniakemissionen in der Landwirtschaft Minderungsziele und -potenziale. Aktuelle rechtliche Rahmenbedingungen für die Tierhaltung, 31.05.2017, Hannover, https://www.ktbl.de/fileadmin/user_upload/Allgemeines/Download/Tagungen-2017/Rechtliche_Rahmenbedingungen_Tierhaltung/Ammoniakemissionen.pdf, Zugriff am 03.05.2020
- Zähner, M. (2005): EMIBAU – Vorsorgliche Emissionsminderungsmaßnahmen bei Bauinvestitionen in der Landwirtschaft. Schlussbericht, Hg. v. Agroscope FAT Tänikon, Ettenhausen, https://www.agroscope.admin.ch/agroscope/de/home/ueber-uns/mitarbeitende/_jcr_content/par/externalcontent.external.exturl.pdf/aHR0cHM6Ly9pcmEuYWdyb3Njb3BILmNoL2VuLVVTL0VpbnpIbH/B1Ymxpa2F0aW9uLORvd25sb2FkP2VpbnpIbHB1Ymxpa2F0aW9u/SWQ9MjAxOTQ=.pdf, Zugriff am 08.02.2020

- Zähner, M.; Keck, M.; Hilty, R. (2005): Ammoniak-Emissionen von Rindviehställen - Minderung beim Bau und Management. FAT-Berichte Nr. 641. https://www.strickhof.ch/custom/strickhof.ch/userfiles/files/Fachwissen/Duengung/RessourcenprojektAmmoniak/Merkblaetter/FAT_Bericht_641_Rindviehstaelle_Ammoniak_Emissionen.pdf, Zugriff am 08.02.2020
- Zähner, M.; Poteko, J.; Zeyer, K.; Schrade, S. (2017): Laufflächengestaltung: Emissionsminderung und verfahrenstechnische Aspekte - erste Ergebnisse aus dem Emissionsversuchsstall Tänikon. In: Bautagung Raumberg-Gumpenstein 2017, Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, 16.-17. Mai 2017, Irdning, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, S. 13–18, <http://link.ira.agroscope.ch/de-CH/publication/36692>, Zugriff am 03.05.2020
- Zähner, M.; Zeyer, K.; Mohn, J.; Hildebrandt, F.; Burla, J.-B.; Schrade, S. (2019): Fressstände für Milchkühe: Ammoniakemissionen, Sauberkeit und Verhalten. In: 14. Tagung: Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung, VDI-MEG, KTBL, EurAgEng, 24.-26.09.2019, Bonn, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., S. 45–50
- Zähner, M.; Schrade, S. (2020): Laufflächen mit 3 % Quergefälle und Harnsammelrinne in Laufställen für Milchkühe. Agroscope Merkblatt Nr. 80, Version 1, Januar 2020, <http://link.ira.agroscope.ch/de-CH/publication/43459>, Zugriff am 03.05.2020

Autoren

Franziska Christ (M.Sc.) studierte Nachhaltige Agrar- und Ernährungswirtschaft und war als wissenschaftliche Hilfskraft im Projekt EIP-Rind tätig, **Prof. Dr. Barbara Benz** ist Professorin in den Studiengängen Agrar- und Pferdewirtschaft sowie fachliche und wissenschaftliche Leiterin des Projektes EIP-Rind, Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen, Neckarsteige 6–10, 72622 Nürtingen, E-Mail: barbara.benz@hfwu.de

Danksagung

Unser Dank gilt den beteiligten Institutionen und Fördermittelgebern. Das Projekt wird gefördert im Rahmen der Europäischen Innovationspartnerschaft „Landwirtschaftliche Produktivität und Nachhaltigkeit“ (EIP-AGRI). Die Fördermaßnahme ist eine Maßnahme des Maßnahmen- und Entwicklungsplans Ländlicher Raum Baden-Württemberg 2014–2020 (MEPL III). Das Projekt wird durch das Land Baden-Württemberg und über den Europäischen Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des Ländlichen Raums (ELER) finanziert.

Weitere Informationen zu innovativen Stallbauten finden Sie auf der Homepage des Projektes EIP-Rind (<https://www.eip-rind.de/>).