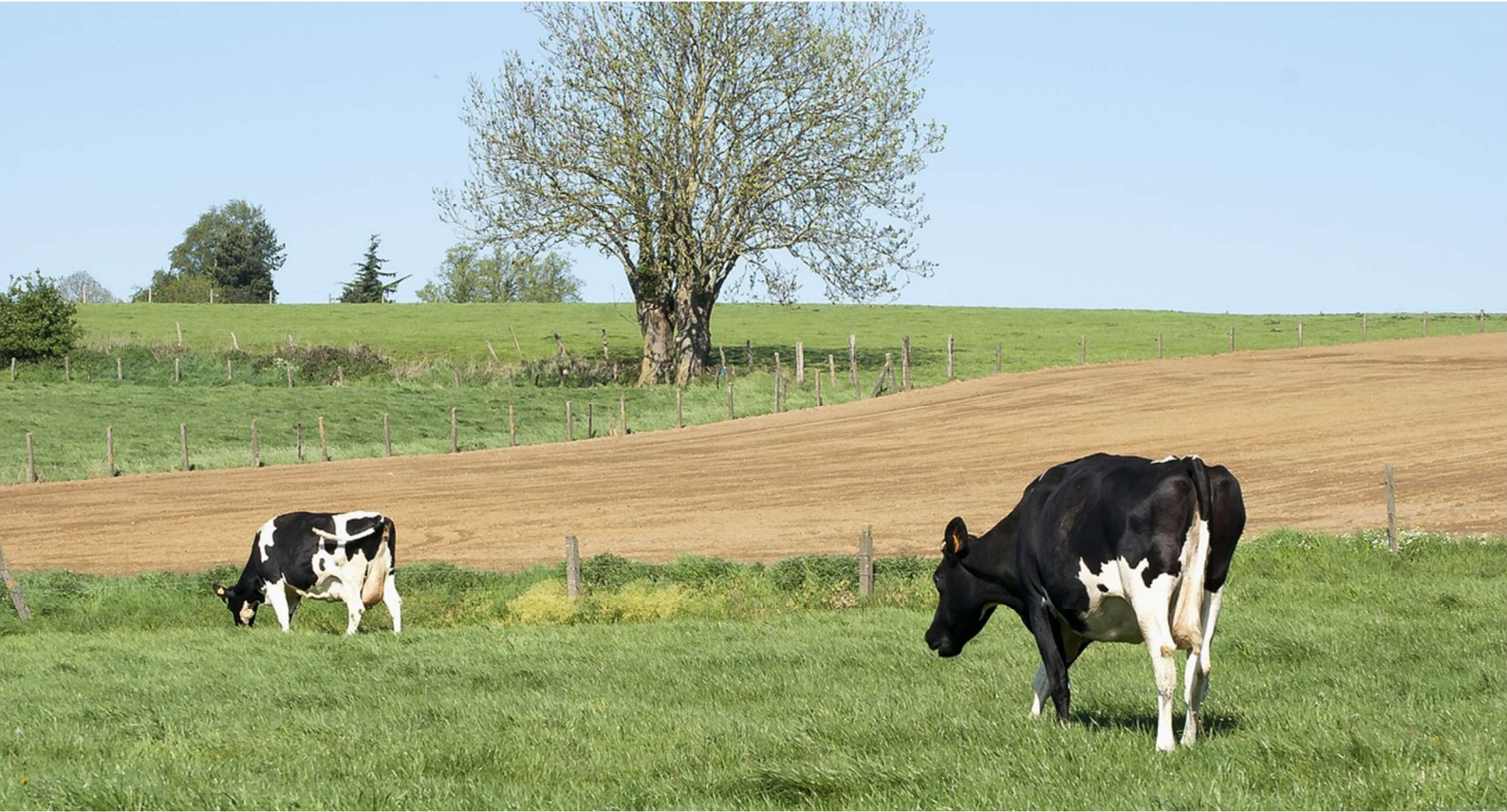




Emissionsmindernde Maßnahmen für die Rinder- und Schweinehaltung in Brandenburg



Fütterung – Haltung – Lagerung

**Emissionsmindernde Maßnahmen
für die
Rinder- und Schweinehaltung
in Brandenburg**

Impressum

Informationsbroschüre Emissionsmindernde Maßnahmen für die Rinder- und Schweinehaltung in Brandenburg

Gefördert durch: Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz des Landes Brandenburg (MLUK)

Auftraggeber: IFN Schönow e. V.

Fachliche Koordination und Auftragnehmer: INL – Privates Institut für Nachhaltige Landbewirtschaftung GmbH

Gestaltung: INL – Privates Institut für Nachhaltige Landbewirtschaftung GmbH

Bilder: F. Becker, Meier Brakenberg, A. Fübbeker, M. Pahlke, L. Wokel, T. Heidenreich, Freepik, pixabay

Druck: Druck-Zuck GmbH, 100% Recyclingpapier, zertifiziert nach Blauer Engel

Auflage: 100 Stück

Haftungsausschluss

Herausgeber und Redaktion haben den Inhalt dieser Ausgabe mit großer Sorgfalt und Gewissen zusammengestellt. Herausgeber und Redaktion übernehmen jedoch keine Haftung für jegliche Art von Schäden, die durch Handlungen oder Entscheidungen aufgrund der Informationen in dieser Broschüre entstehen.

Inhalt

Kapitel 1	Einführung	1
Kapitel 2	Emissionsquellen in der Nutztierhaltung	2
Kapitel 3	Klimabilanzierung in der Nutztierhaltung	5
Kapitel 4	Ansatzpunkte zur Emissionsminderung bei der Futtererzeugung	10
Kapitel 5	Ansatzpunkte zur Emissionsminderung im Herdenmanagement	11
Kapitel 6	Ansatzpunkte zur Emissionsminderung in der Rinderfütterung	13
Kapitel 7	Ansatzpunkte zur Emissionsminderung im Rinderhaltungssystem	16
Kapitel 8	Ansatzpunkte zur Emissionsminderung im Wirtschaftsdüngermanagement der Rinderhaltung	23
Kapitel 9	Ansatzpunkte zur Emissionsminderung in der Schweinefütterung	26
Kapitel 10	Ansatzpunkte zur Emissionsminderung im Schweinehaltungssystem	28
Kapitel 11	Ansatzpunkte zur Emissionsminderung im Wirtschaftsdüngermanagement der Schweinhaltung	35
Literatur		39

Beteiligte Einrichtungen

Gefördert aus dem Klimafond des

Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz

des Landes Brandenburg (MLUK)



Auftraggeber ist der

Institut für Fortpflanzung landwirtschaftlicher

Nutztiere Schönow e. V.



Die fachliche Koordination übernahm die

INL – Privates Institut für Nachhaltige Landbewirtschaftung GmbH



Kapitel 1 Einführung

Liebe Leserin, lieber Leser,

der Klimawandel beeinträchtigt viele Bereiche der Landwirtschaft. Besonders stark betroffen sind von langen Trockenphasen und Hitzeperioden die tierhaltenden Betriebe. Damit wird deutlich, dass die Landwirtschaft eine Doppelrolle beim Klimawandel einnimmt. Einerseits ist sie ein stark vom Klimawandel betroffener Sektor und hat mit den Auswirkungen des Klimawandels zu kämpfen. Andererseits ist sie ein Emittent von Treibhausgasen und zählt damit zu den Verursachern des Klimawandels. Die bedeutsamsten Emissionsquellen aus der Tierhaltung sind die Treibhausgase Methan (CH_4), Lachgas (N_2O) und Kohlenstoffdioxid (CO_2) sowie der Luftschadstoff Ammoniak (NH_3).

Im Jahr 2021 war die deutsche Landwirtschaft für die Freisetzung von 61 Millionen Tonnen (Mio. t) Kohlendioxid-Äquivalenten verantwortlich [1]. 65 % der gesamten Methan- und sogar 77 % der Lachgas-Emissionen in Deutschland stammten 2021 aus der Landwirtschaft. Knapp über 60 % der Emissionen der Landwirtschaft sind auf die direkte Tierhaltung zurückzuführen. Mit einem Anteil von etwa 95 % ist die Landwirtschaft in Deutschland Hauptemittent des Luftschadstoffs Ammoniak und davon stammen mehr als 70 % aus der Tierhaltung [2]. Diese Zahlen verdeutlichen das erhebliche Reduktionspotenzial zur Emissionsminderung in der Nutztierhaltung und den dringenden Handlungsbedarf, um die negativen Umweltwirkungen der Milch- und Fleischerzeugung auf ein tragbares Maß zu reduzieren.

Diese Broschüre informiert über die Möglichkeiten der betrieblichen Klimabilanzierung und die wichtigsten Emissionsminderungsmaßnahmen in der Tierhaltung für die Milch- und Schweinflischerzeugung unter den Brandenburgischen Rahmenbedingungen.

Bei der Auswahl der Minderungsmaßnahmen wurde berücksichtigt, dass der gesellschaftlich und politisch angestrebte Umbau der Nutztierhaltung hin zu einer nachhaltigen Ressourcennutzung auch eine deutliche Verbesserung des Tierwohls zum Ziel hat. Eine wirtschaftlich nachhaltige Nutztierhaltung ist zwingend auf eine breite gesellschaftliche Akzeptanz angewiesen [3]. Daher sind Zielkonflikte zwischen den Emissionsminderungsmaßnahmen einerseits und dem Bestreben nach einer deutlichen Verbesserung des Tierwohls andererseits zu verhindern bzw. zu lösen.

Die dargestellten Emissionsminderungsstrategien sollen eine erste Übersicht zu den bestehenden Möglichkeiten geben und als Grundlage für kurz- und mittelfristige Maßnahmen zur Emissionsreduktion in der Nutztierhaltung in Brandenburg dienen.

Kapitel 2 Emissionsquellen in der Nutztierhaltung

Emissionsquellen in der Nutztierhaltung

Welches sind die Hauptquellen der Treibhausgase aus der Tierhaltung? Abbildung 1 gibt dazu einen Überblick.

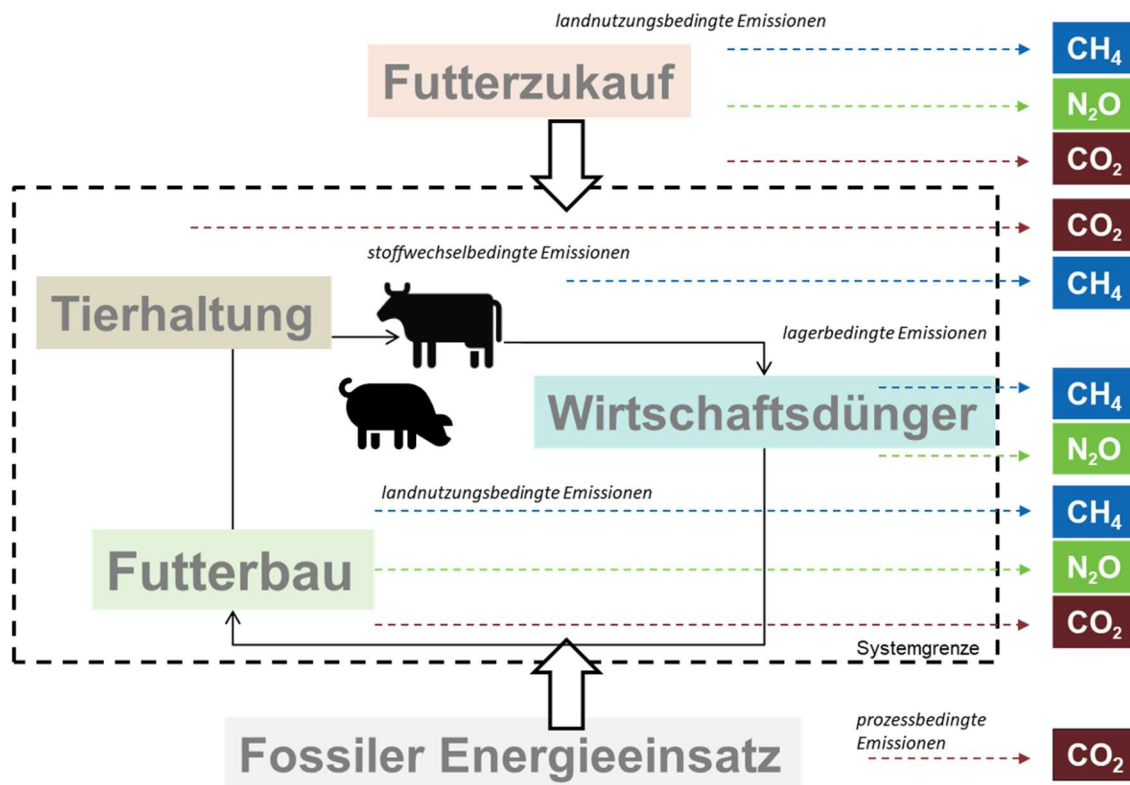


Abbildung 1: Emissionsquellen der Rinder- und Schweinehaltung (Quelle: verändert nach Frank et al. (2011))

➡ Kohlendioxid (CO_2)

Kohlendioxid wird im Produktionsprozess indirekt durch den Einsatz von Betriebsmitteln, welche in ihrer Herstellung Energieeinsatz benötigen, emittiert. Im Produktionsprozess sind hauptsächlich innerbetriebliche Transportwege sowie technische Anlagen, wie Heizung, Fütterungssysteme oder Milchkühlung für CO_2 -Ausstoß maßgebend.

➡ Methan (CH_4)

Methanemissionen entstehen vorrangig beim Verdauungsvorgang der Wiederkäuer. Bei faserreicher Ernährung wird Methan auch im Dickdarm von Schweinen, vor allem bei Sauen, gebildet. Auch die sauerstofffreie Lagerung von Wirtschaftsdüngern und Gärresten fördert die Methanemissionen. Methan ist ein kurzlebiges Treibhausgas, da es in der Atmosphäre über OH-Radikale in einem Zeitraum von 10 Jahren zu CO_2 abgebaut wird (Abbildung 2). Innerhalb dieser Zeit besitzt Methan jedoch eine besonders hohe Erwärmungswirkung und trägt damit überproportional zum Klimawandel bei. Das Treibhausgaspotenzial ist 30-mal höher als das von Kohlendioxid.

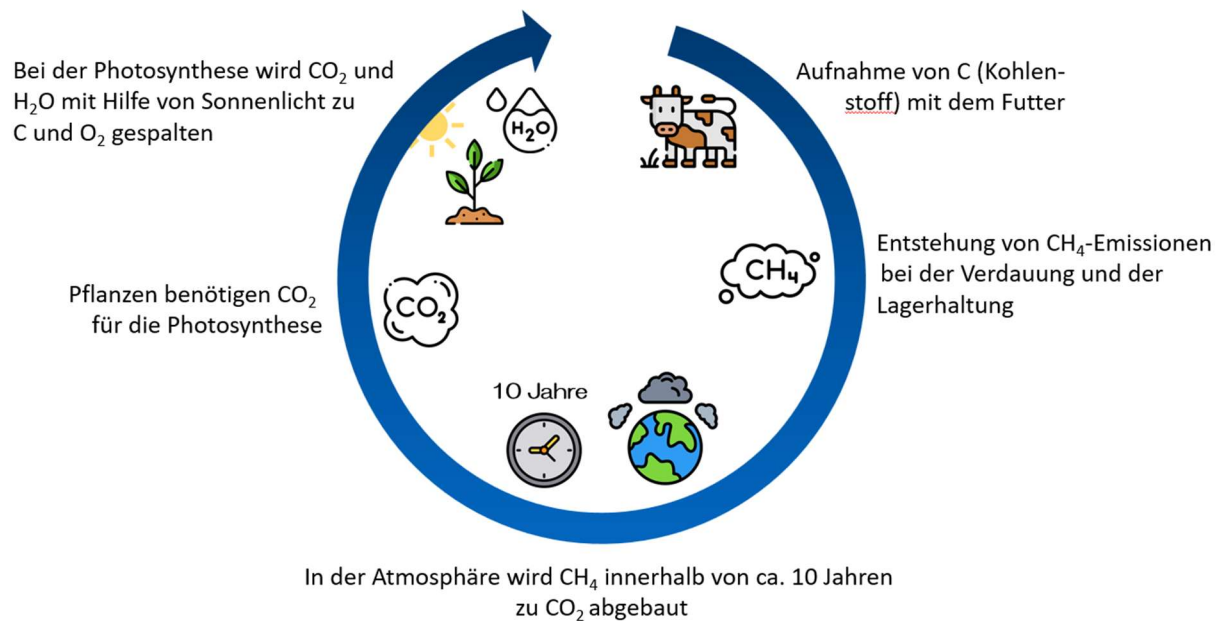


Abbildung 2: Methankreislauf in der Rinderhaltung (Quelle: eigene Darstellung INL GmbH)

In Brandenburg stammen 64 % der Methanemissionen aus der Milcherzeugung. Im Vergleich dazu können 22 % der Mutterkuhhaltung zugeordnet werden. Die Schweinehaltung nimmt hinsichtlich der Methanemissionen in Brandenburg mit 5 % eine untergeordnete Rolle ein (Abbildung 3).

Etwa 27.600 t Methan werden aufgrund der Milchproduktion emittiert, womit Brandenburg einen Anteil von 3,3 % an den deutschlandweiten Methanemissionen in der Milcherzeugung besitzt.

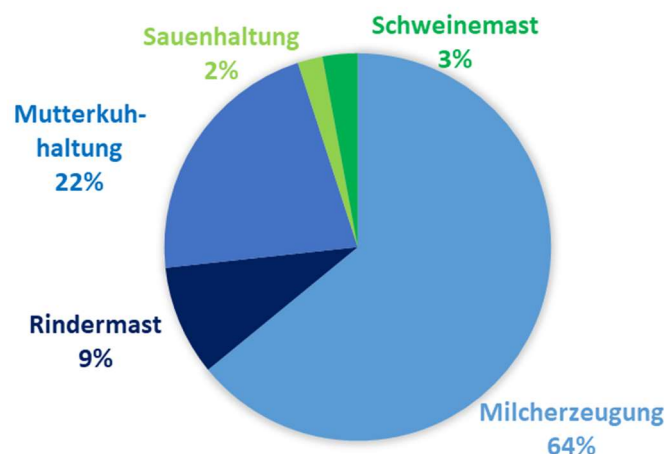


Abbildung 3: Prozentualer Anteil der Methanemissionen aus der Rinder- und Schweinehaltung dargestellt für das Bundesland Brandenburg im Jahr 2020 (Quelle: eigene Darstellung nach THÜNEN REPORT 91 (2022))

➔ Ammoniak (NH₃)

Ammoniak entsteht bei mikrobiellen Abbauprozessen von Harnstoff, Harnsäure und Proteinen in den Ausscheidungen von Tieren sowie aus dem Abbau ungenutzter Futtermittel. In der Luft reagiert gasförmiges Ammoniak mit anderen Luftschadstoffen und bildet Feinstaub. Bei Regen, Nebel oder Tau gelangt er nach der Umwandlung in Nitrat (NO₃⁻) in Gewässer und Böden. Im Boden wird das Ammonium an Partikel gebunden oder von Pflanzen oder Mikroorganismen aufgenommen. In schlecht durchlüfteten Böden entsteht Lachgas, ein starkes Treibhausgas. Ammoniak und Ammonium sind also Teil des Stickstoff-Kreislaufes.

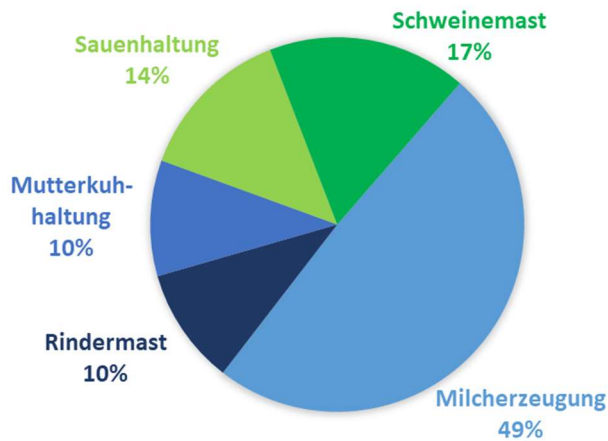


Abbildung 4: Prozentualer Anteil der Ammoniakemissionen aus der Rinder- und Schweinehaltung dargestellt für das Bundesland Brandenburg im Jahr 2020 (Quelle: eigene Darstellung nach THÜNEN REPORT 91 (2022))

Hauptquelle für Ammoniak in Deutschland ist die Rinderhaltung. Insbesondere die Milchviehhaltung besitzt einen großen Anteil. Der Beitrag der Schweinehaltung ist deutlich geringer. Besonders viel Ammoniak entweicht bei der Ausbringung von Gülle, Festmist und Gärresten, vor allem im Sommer bei hohen Temperaturen und fehlender Einarbeitung in den Boden.

In Brandenburg stammen 49 % der Ammoniakemissionen aus der Milcherzeugung, gefolgt von 17 % aus der Schweinemast (Abbildung 4). Die Sauenhaltung nimmt mit 14 % der Ammoniakemissionen eine mittlere Position ein, den geringsten Anteil haben die Mutterkuhhaltung und die Rindermast mit 10 %.

➔ Lachgas (N₂O)

Lachgas wird in der Landwirtschaft über mikrobielle Umsetzungen aus unterschiedlichen Stickstoffverbindungen gebildet. In der Tierhaltung entstehen Lachgasemissionen aus den Exkrementen beim Weidegang und während der Wirtschaftsdüngerlagerung. Je stickstoffreicher die Ausscheidungen sind, desto höher ist die Lachgasfreisetzung. Im Vergleich zu den anderen Klimagasen ist Lachgas das mengenmäßig geringste Treibhausgas aus der Tierhaltung. Allerdings ist das Treibhausgaspotenzial 298-mal höher als das von Kohlendioxid und besitzt daher eine hohe Klimawirksamkeit.

In Brandenburg stammen rund 60 % der Lachgasemissionen aus der Milchviehhaltung, gefolgt von 14 % aus der Rindermast und 12 % aus der Mutterkuhhaltung. Die Schweinehaltung besaß 2020 mit insgesamt 14 % einen geringen Anteil an den gesamten Lachgasemissionen (Abbildung 5).

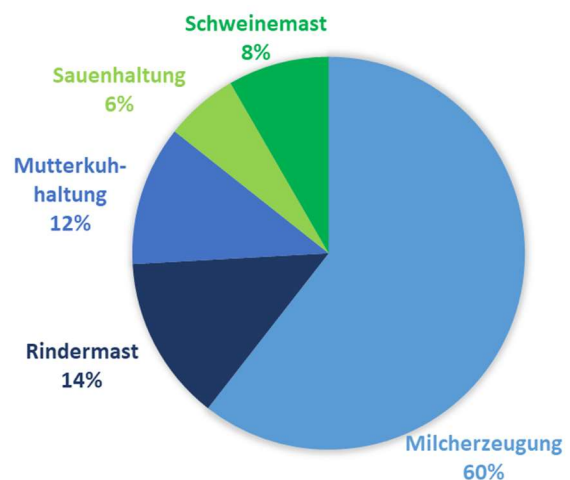


Abbildung 5: Prozentualer Anteil der Lachgasemissionen aus der Rinder- und Schweinehaltung dargestellt für das Bundesland Brandenburg im Jahr 2020 (Quelle: eigene Darstellung nach THÜNEN REPORT 91 (2022))

Kapitel 3 Klimabilanzierung in der Nutztierhaltung

Für die Beurteilung von Treibhausgasemissionen in der Rinder- und Schweinehaltung und der Identifizierung von Reduktionspotenzialen ist im ersten Schritt eine betriebspezifische Treibhausgasbilanzierung erforderlich. Hieraus können Schwachstellen innerhalb des Produktionsverfahrens abgeleitet und Maßnahmen nach Aufwand-Nutzen-Relation eingeordnet werden. Durch die komplexe Wirkung einzelner Verfahrensschritte auf verschiedene Emissionsquellen müssen Handlungen zielorientiert auf die Reduktion der Gesamtemission eines Produktionszweiges erfolgen (Abbildung 6).

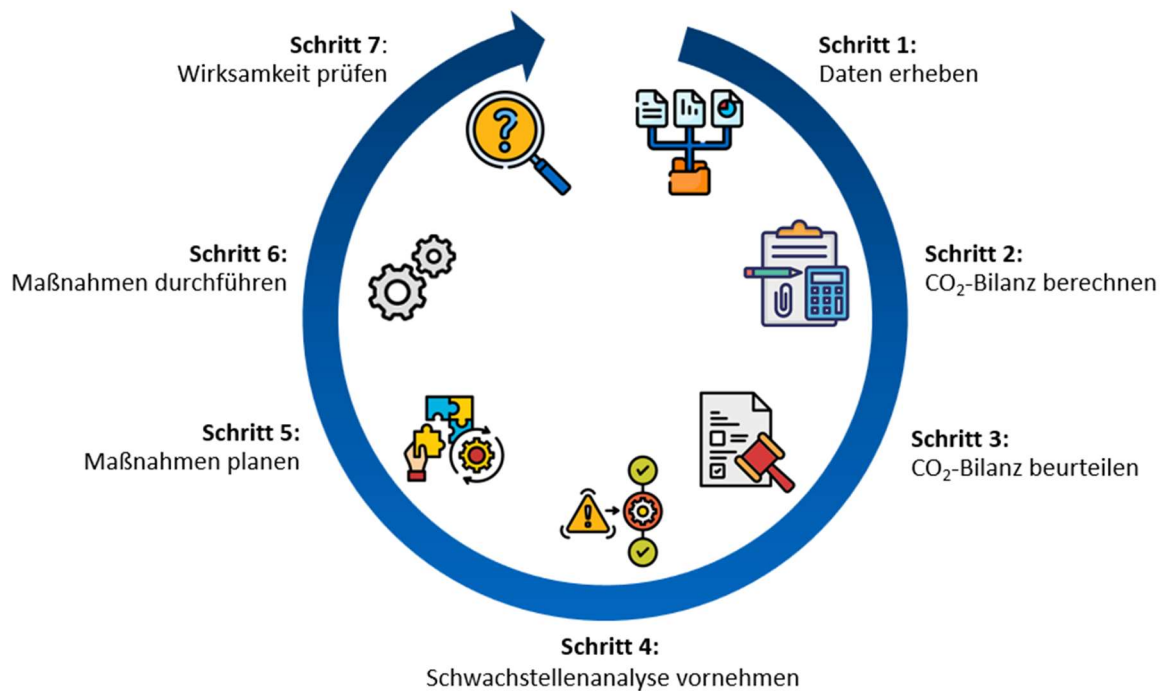


Abbildung 6: Arbeitsweise der Klimabilanzierung zur kontinuierlichen Verbesserung des CO₂-Fußabdrucks im Betrieb (Quelle: eigene Darstellung INL GmbH)

Der Standard für die Berechnung des prozess- bzw. produktbezogenen CO₂-Fußabdrucks ist mit der DIN ISO 14067 vorgegeben, die im Einklang mit den internationalen Normen zur Ökobilanz (ISO 14040 und ISO 14044) steht. Sie definiert eine systematische Herangehensweise mit klaren Leitlinien und Anforderungen für die Quantifizierung und Verifizierung von Emissionen in einer Treibhausgasbilanz (THG)-Bilanz.

➡ BEK (Berechnungsstandard für einzelbetriebliche Klimabilanzen)

Mit dem „Berechnungsstandard für einzelbetriebliche Klimabilanzen“ (BEK) ist eine methodische Grundlage für die landwirtschaftliche Klimabilanzierung vom Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL) vorgegeben. Die Definition der Parameter und Emissionsfaktoren ermöglicht die Vergleichbarkeit von Berechnungen zu Klimagasemissionen. Für die praktische Anwendung stehen dem Landwirt verschiedene Softwareprogramme für die Ermittlung von THG-Emissionen zur Verfügung. Unterschiede bestehen in der Qualität der Eingangsdaten. Hier gilt, je betriebspezifischer die Eingangsgrößen sind, desto genauer ist eine Emissionsinventur des Produktionsprozesses. Eine Bilanzierung einzelner Betriebszweige wird vom KTBL in Form einer Excel-Anwendung angeboten,

in dem die Vorgaben des BEK umgesetzt sind. Neben der Bilanzierung für Rinder- sowie Schweinehaltung ist auch der Pflanzenbau abbildbar. Es werden die direkten und indirekten Emissionen, einschließlich der Bereitstellung eingesetzter Betriebsmittel berücksichtigt.

Eingangsgrößen sind hauptsächlich standardisiert und spezifische Koeffizienten müssen im Berechnungsformular an die Betriebsverhältnisse angepasst werden (Abbildung 7). Hierzu wird eine Liste der zu verwendenden Werte angeboten.

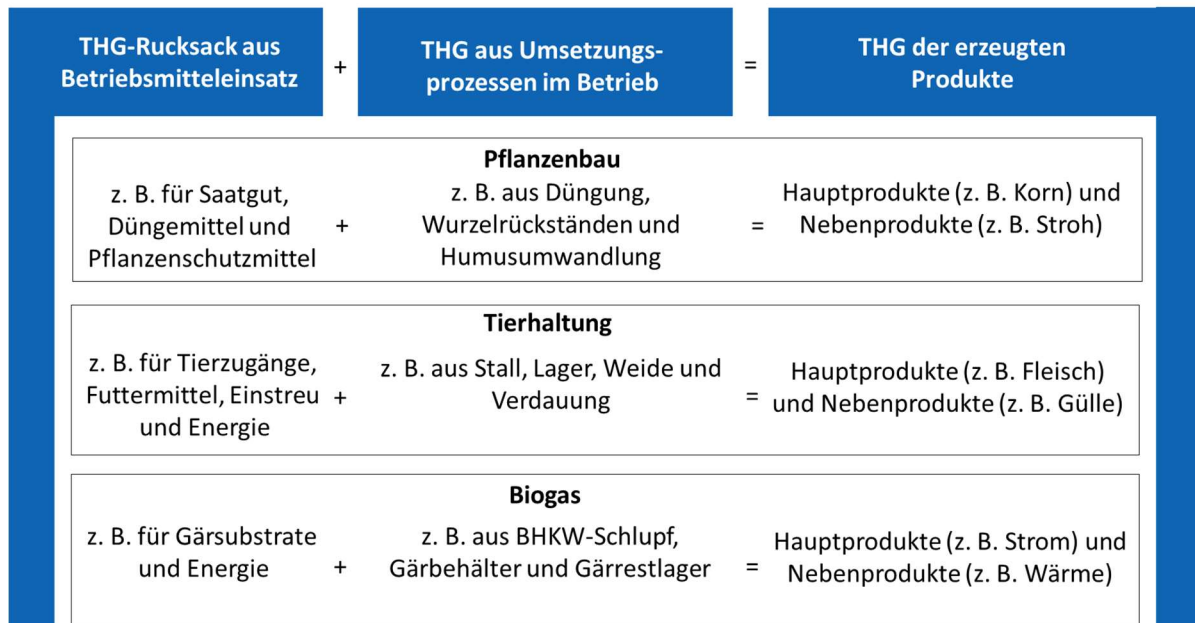


Abbildung 7: Systematik der Treibhausgasbilanzierung nach BEK (Quelle: Agru BEK (2021))

➔ TEKLa (Treibhausgas-Emissions-Kalkulator-Landwirtschaft)

Die Landwirtschaftskammer Niedersachsen hat mit TEKLa ein Rechentool entwickelt, mit dem einzelbetriebliche Klimabilanzen für landwirtschaftliche Betriebe erstellt werden können. Es wird bereits in mehreren Bundesländern angewandt. TEKLa basiert auf dem deutschlandweit abgestimmten Berechnungsstandard für Klimabilanzierungen in der Landwirtschaft (BEK). Die Arbeitsweise erfolgt analog der Excel-Anwendung des KTBL e.V. und wird als Dienstleistung angeboten. Der Landwirt erhält ein Formular, in dem die betrieblichen Parameter abgefragt werden. TEKLa weist direkt nach der Datenerfassung den CO₂-Fußabdruck immer auf Ebene des Produktionsverfahren aus. Das ermittelte Ergebnis wird in den zugehörigen Vergleichsgruppendurchschnitt eingeordnet (Tabelle 1). Weitere Informationen erteilt der Entwickler des Rechentools: Ansgar Lasar, Klimabeauftragter der Landwirtschaftskammer Niedersachsen, E-Mail: Ansgar.Lasar@LWK-Niedersachsen.de.

Tabelle 1: Ergebnisdarstellung der Treibhausgasemissionen in der Milchviehhaltung mit dem Rechentool TEKLa (Quelle: verändert nach Landwirtschaftskammer Niedersachsen (2022))

Einzelbetriebliche Klimabilanz in der Milcherzeugung			
Betriebsdaten für die Klimabilanz		Nds. Vergleich	Ist-Betrieb
Wie groß ist der durchschnittliche Kuhbestand?	Stück	86	91
Wie hoch ist die Milchleistung?	kg ECM/Kuh	8099	10000
Wie schwer sind die Milchkühe durchschnittlich?	kg/Kuh	637	650
Wie lange werden die Milchkühe genutzt?	Monate/Kuh	36	38
Wie viel Kühe sind zum Abdecker gegangen?	Stück	3	4
Wie viel Kraftfutter wird eingesetzt (88 % TM)?	kg KF/Kuh	1944	2900
Wie hoch ist der Energiegehalt im Kraftfutter (88 % TM)	MJ NEL/kg KF	7,1	7
Zu welchem Anteil ist es Importsoja ohne Nachhaltigkeitszertifikat?	% Soja im KF	8	0
Wie hoch ist der Energiegehalt im Grundfutter (100 % TM)?	MJ NEL/kg GF-TM	6,4	6,4
Wie hoch sind die Grundfüttererträge (100 % TM) je ha?	kg TM/ha	11000	12000
Wie hoch ist der N-Überschuss laut Düngbedarfsermittlung/ Düngeaufzeichnung?	kg N/ha	0	0
Wie hoch ist der Stromverbrauch?	kWh/Kuh	350	384
Zu welchem Anteil wird eigener Photovoltaikstrom oder Ökostrom eingesetzt?	% des Stroms	15	0
Wie viel Stunden sind die Tiere auf der Weide?	Weidestunden/Kuh	1593	840
Wie viel WD gelangt direkt in gasdichte Behälter (z. B. Biogasanlage)?	% des WD	4	22
Wie viel WD gelangt nach Vorlagerung in gasdichte Behälter (z. B. BGA)?	% des WD	8	22
Treibhausgasemissionen Milcherzeugung	kg CO _{2e} /Kuh	7679	8173
CO ₂ -Fußabdruck	g CO _{2e} /kg ECM	948	817
CO ₂ -Fußabdruckveränderung Ziel- zu Ist-Betrieb	%		
Gewinnveränderung Ziel- zu Ist-Betrieb	€ je Kuh		

➡ REPRO (INL – Privates Institut für Nachhaltige Landwirtschaft GmbH)

Mit dem Bilanzierungsprogramm REPRO steht eine Software zur Verfügung, welches den Gesamtbetrieb detailliert abbildet. Sie dient zur Analyse und Bewertung der ganzheitlichen Nachhaltigkeit eines Produktionsverfahrens bzw. Betriebes, kann aber auch gezielt Einzelergebnisse aufrufen. Die Basis bildet die Analyse innerbetrieblicher Stoff- und Energieflüsse, wodurch eine tiefgreifende Ausweisung aller THG-Emissionen möglich ist (Abbildung 8).

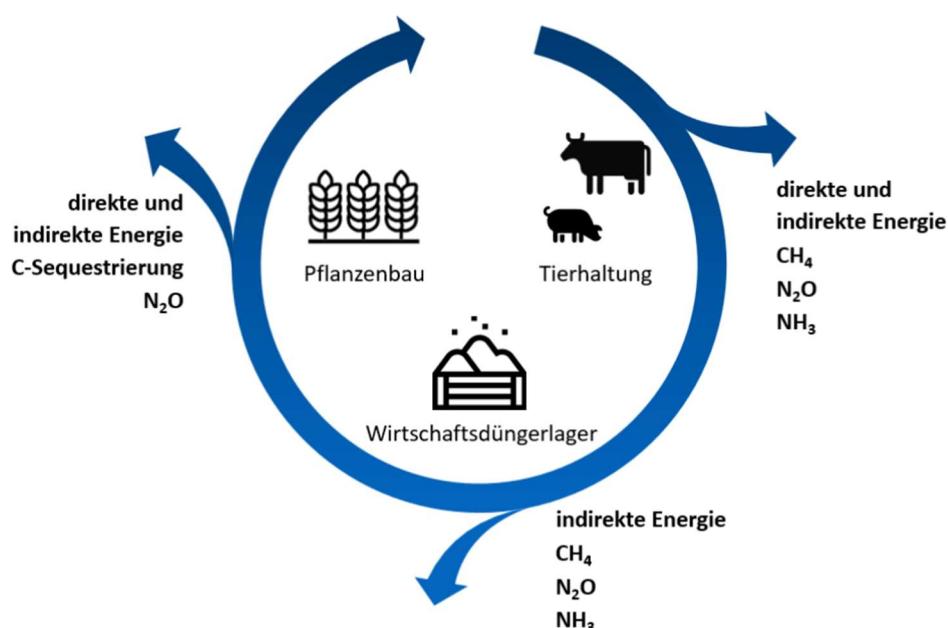


Abbildung 8: Berücksichtigung der Quellen von Treibhausgasen in der Betriebsbewertung (Quelle: eigene Darstellung INL GmbH)

So können eigene Futtermittel oder Nachzucht mit den verfahrensspezifischen Emissionen als Eingangswerte in der Rinder- und Schweinehaltung berücksichtigt werden. Da die Software für eine ganzheitliche Nachhaltigkeitsbewertung konzipiert ist, sind Interaktionen mit anderen Zielen (Bodenfruchtbarkeit, Tierwohl) für die Ausweisung von Handlungsempfehlungen sichtbar. Die Betrachtung erfolgt auf der kleinsten Produktionsebene (Schlag, Tiergruppe). Die Eingangsdaten können über Schnittstellen übernommen werden. Für die Erhebung der Tierhaltung werden Exporte der HIT-Datenbank und des Herdenmanagementprogrammes verwendet. In Brandenburg besteht eine Förderung für die Anwendung von „REPRO“ zur Nachhaltigkeitsanalyse, wobei die THG-Bilanz einen Teil der Auswertung darstellt. Weitere Informationen erhalten Sie bei der INL – Privates Institut für Nachhaltige Landwirtschaft GmbH: Frank Reinicke, Geschäftsführer, E-Mail: frank.reinicke@inl-mail.de.

Andere Ansätze zur THG-Bilanzierung sind mit RISE (Response-Inducing Sustainability Evaluation) der Berner Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften und SMART (Sustainability Monitoring and Assessment Routine) des Forschungsinstituts für biologischen Landbau – FiBL gegeben. In beiden Ansätzen ist die Ausweisung der Klimawirkung ein Teil einer gesamten Nachhaltigkeitsbewertung. Die Berechnung erfolgt auf Betriebsebene und ist nur bedingt auf einzelne Betriebszweige anwendbar. Die Datenerfassung erfolgt hier mittels Abfrage über Formulare. Weitere Informationen zu RISE entnehmen Sie bitte den Ausführungen der Berner Fachhochschule (<https://www.bfh.ch/rise>) bzw. zu SMART den Informationen des FiBL (<https://www.fibl.org/de/themen/smart>).

Die nachfolgende Tabelle 2 zeigt eine Gegenüberstellung der Systeme zur Klimabilanzierung in der Tierhaltung im Hinblick auf deren fachliche Inhalte, das verwendete Berechnungsverfahren und Besonderheiten.

Tabelle 2: Gegenüberstellung der Systeme zur Klimabilanzierung in der Tierhaltung im Hinblick auf fachliche Inhalte, das verwendete Berechnungsverfahren und Besonderheiten (Quelle: eigene Darstellung INL GmbH)

System	Anwender	Fachliche Inhalte	Berechnungs-/ Datengrundlage	Besonderheiten
BEK	Landwirt	Klimabilanzierung in Pflanzenbau, Tierhaltung, Biogaserzeugung	Webanwendung (Excel)	standardisierte CO ₂ -Bilanzglieder (selbsterzeugtes Grundfutter, Kraftfutter, Färsenzukauf)
		direkte, indirekte und vorgelagerte Emissionen	Betriebsdaten, Parameterdatenbank mit Standardwerten	produktbezogene Ergebnisausweisung auf Ebene Betrieb, Tierart, Strommenge (eingespeist)
TEKLa	Landwirt/Berater	Klimabilanzierung in Pflanzenbau, Tierhaltung, Biogaserzeugung	Excelanwendung	Einordnung der Ergebnisse in Vergleichsgruppenn-durchschnitt
		direkte, indirekte und vorgelagerte Emissionen	Betriebsdaten, Parameterdatenbank mit Standardwerten (BEK)	
REPRO	Berater der INL GmbH	ökologische Nachhaltigkeit in Pflanzenbau und Tierhaltung (Klimabilanzen, Bodenschutz, Ressourcen, Biodiversität, Erosion, Tierwohl)	Bilanzierungssoftware REPRO	betriebsspezifische CO ₂ -Bilanzen (Futtererzeugung, Haltung, Nachzucht, Wirtschaftsdüngermanagement)
		direkte, indirekte und vorgelagerte Emissionen	Export Ackerschlagkartei, HIT-Datenbank, Herdenmanagementprogramm, MLP-Jahresberichte	produktbezogene Ergebnisausweisung auf Ebene Betrieb, Produktionsrichtung, Tierart
				Szenariofähigkeit

Tierwohl

Fragen des Tierwohls und Klimaschutzes werden kontrovers diskutiert. Mehr Tierwohl und weniger Emissionen müssen jedoch kein Zielkonflikt sein. In dieser Broschüre sind daher alle Maßnahmen, die Emissionen mindern und gleichzeitig das Tierwohl unterstützen, markiert. Die Querverweise sind mit dem Logo des Konzeptes der drei Dimensionen nach Fraser (2008) gekennzeichnet (Abbildung 9). Die verschiedenen Aspekte von Tierwohl werden demnach den drei übergeordneten Dimensionen zugeteilt: der Tiergesundheit, der Ausführung natürlicher Verhaltensweisen und dem emotionalen Zustand [4]. Eine Kompensation zwischen den verschiedenen Tierwohl-Dimensionen ist nicht möglich, alle Dimensionen haben den gleichen Stellenwert.



Abbildung 9: Frasers multidimensionales Konzept des Tierwohls (Quelle: verändert nach Fraser (2008))

Kapitel 4 Ansatzpunkte zur Emissionsminderung bei der Futtererzeugung



Ansatzpunkte zur Emissionsminderung bei der Futtererzeugung

- Eigenfuttererzeugung und Futterkonservierung
- Fruchtfolgegestaltung im Ackerfutterbau
- Optimaler Erntezeitpunkt

➔ Eigenfuttererzeugung und Futterkonservierung

In der Regel produzieren die Betriebe in Brandenburg einen Großteil ihres Futters selbst. Hierdurch kann der Landwirt die Treibhausgasemissionen für die Bereitstellung der Futtermittel beeinflussen und somit auch die

Bilanz für die angegliederte Tierhaltung. Im Futterbau entstehen Treibhausgase durch den Einsatz von Betriebsmitteln, Stickstoffdüngung und durch den Abbau organischer Bodensubstanz. Maßgebend für den CO₂-Fußabdruck ist die erzielte Ertragsleistung in der Futterproduktion sowie die Minimierung von Verlusten bei der Ernte, Silierung bzw. Heuwerbung und Futtervorlage.

➔ Fruchtfolgegestaltung im Ackerfutterbau

Bei der Nutzung von Ackerland spielt der Humushaushalt in Bezug auf die Klimawirkung der Landwirtschaft eine bedeutende Rolle. Fruchtfolgen mit hohem Humuszehreranteil führen zu zusätzlichen CO₂-Freisetzungen aus dem Bodenpool. Dagegen kann durch den Anbau von Humusmehrern Kohlenstoff im Boden gebunden werden. Daher ist in der Rinderhaltung zu prüfen, wie die Grobfuttererzeugung gestaltet werden kann. Wenn es die Rationsgestaltung zulässt, sollte der Silomaisanteil durch Ackergrassilage reduziert werden. Bei erhöhtem Proteinbedarf kann auch eine Futterleguminose oder ein Gemisch aus beidem angebaut werden. Zur Realisierung der Proteinversorgung bieten auch Körnerleguminosen eine Alternative zu Futtermitteln mit langen Transportwegen. Mit der damit verbundenen Stickstofffixierung und Humusmehrung im Anbau kann die Fruchtfolge insgesamt aufgewertet werden.

➔ Optimaler Erntezeitpunkt

Der Erntezeitpunkt von Grobfutter bestimmt die Verdaulichkeit der Ration und sollte daraufhin optimiert werden. Dies hat einen positiven Effekt auf die Methanbildung im Wirtschaftsdüngerlager. Ausschlaggebend für die Höhe der Methanemissionen im Lager ist der Anteil der vergärbaren Substanz in den Exkrementen. Die vergärbare Substanz reduziert sich bei einer hohen Verdaulichkeit der organischen Substanz und niedrigem Rohaschegehalt des Futters.

Kapitel 5 Ansatzpunkte zur Emissionsminderung im Herdenmanagement



Ansatzpunkte zur Emissionsminderung im Herdenmanagement

- Ausschöpfung des Leistungspotenzials
- Verlängerung der Nutzungsdauer
- Tiersensoren zur Unterstützung der Tiergesundheit
- Zuchtausrichtung auf Methanreduzierung

➔ Ausschöpfung des Leistungspotenzials (Milchleistung, Lebendmassezuwachs)

Der Realisierung eines hohen Leistungspotenzials kommt allgemein in der Rinder- und Schweineproduktion eine wichtige Rolle zu. Über eine Ausschöpfung der Einzeltierleistungen können die

THG-Emissionen auf eine höhere Produktmenge, ausgedrückt in CO₂-Äquivalente je kg Produkt (kg CO_{2äq}/kg Milch, kg CO_{2äq}/kg Fleisch, kg CO_{2äq}/kg essbares Protein), verteilt werden.

➔ Verlängerung der Nutzungsdauer

Eine Milchkuh wird in Deutschland im Durchschnitt knapp 5,5 Jahre alt, wobei sie länger als 3 Jahre als Milchkuh gehalten wird [5]. Oftmals erreichen diese Tiere nicht das Alter, zu dem ihre maximale Leistung erwartet wird (3./4. Laktation). Auf dem Betrieb liegt der Schlüssel zur Verbesserung der Nutzungsdauer in einer kontinuierlichen Überwachung von Fütterung, Tiergesundheit, Tierwohl und Hygiene, um die Qualität der Tierhaltung gewährleisten zu können und Fehlentwicklungen zu erkennen. Darüber hinaus spielt die Züchtung eine entscheidende Rolle, um unerwünschte Beziehungen zwischen den Merkmalen Nutzungsdauer, Fruchtbarkeit, Eutergesundheit, Vitalität der Kälber und Gesundheit zu verhindern. Das Gewinnmaximum von Milchkühen ist bei 7 Jahren Nutzungsdauer erreicht. Betrachtet man weiterhin eine Reduzierung der Zwangsabgänge um 10, 30 oder 50 %, kann die optimale Nutzungsdauer auf ca. 10 Jahre ausgedehnt werden [6]. Eine Verlängerung der durchschnittlichen Nutzungsdauer der Milchkühe führt zu einer Senkung des Ressourcenverbrauchs und der Produktionskosten pro kg Milch [6]. Hinzukommend reduziert sich die Remontierungsrate, wodurch weniger Stallplätze und Futterfläche vorgehalten werden müssen.

Auch bei Schweinen wird in der Zuchtarbeit darauf geachtet, dass unerwünschte Nebeneffekte z. B. zwischen der Nutzungsdauer und Fruchtbarkeit ausgeschlossen werden. Langlebige und leistungsstarke Sauen sind in der Lage, über mehrere Jahre eine hohe Lebensleistung in den Bereichen „Anzahl Würfe/Sau u. Jahr“ und „Anzahl abgesetzter Ferkel/Sau u. Jahr“ zu erzielen. Um dies zu erreichen, spielt neben einem sehr guten einzelbetrieblichen Management auch die Zucht eine entscheidende Rolle.

➔ Tiersensoren zur Unterstützung der Tiergesundheit

Gesunde und langlebige Tiere sind die Basis zur Ausschöpfung des Leistungspotenzials und Verringerung von Verlusten. In der Rinderhaltung ist das frühzeitige Erkennen des Gesundheitszustandes, des Vorliegens einer Brunst oder einer bevorstehenden Kalbung maßgeblich für eine erfolgreiche Herdenkontrolle. Eine automatische Erfassung von Gesundheits- und Leistungsparametern erleichtert hierbei

die Überwachung der gesamten Herde. Die Sensorikgeräte können hierfür am Hals, am Fuß, im Ohr oder am Schwanz des Rindes angebracht werden (Abbildung 10). Auch Boli zur Eingabe in den Pansen sind mittlerweile erhältlich. Wichtig ist jedoch, dass Technik das wachsame Auge des Tierhalters nicht ersetzen kann, und aus der digitalen Datenflut sollten immer nur die Informationen gezielt ausgewählt werden, mit denen der Einzelne sinnvoll arbeiten kann.

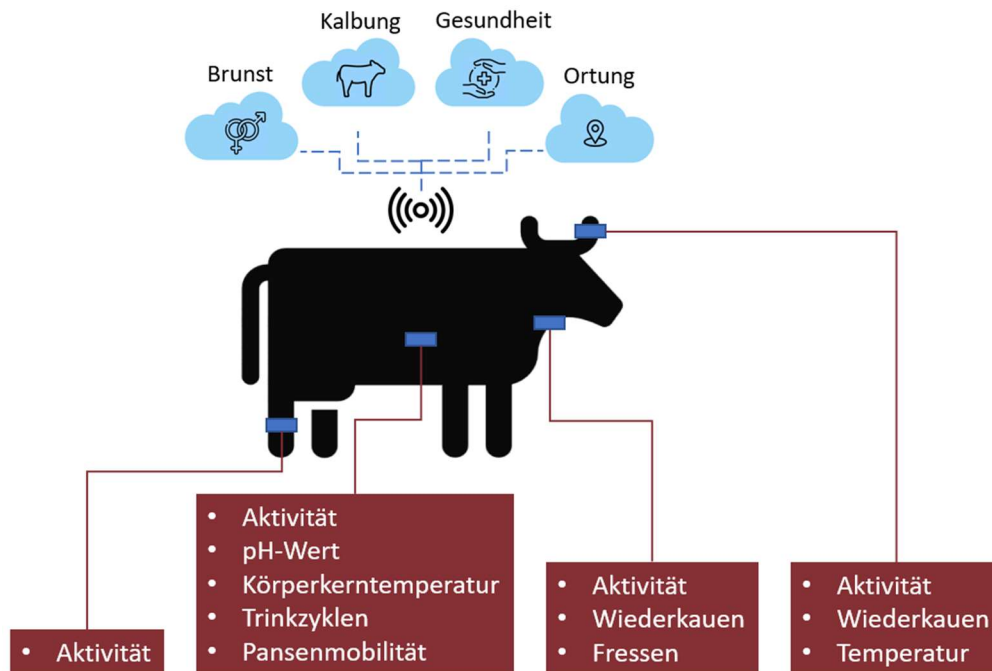


Abbildung 10: Anbringungsorte von Sensoren am und im Tier und deren Anwendungsbereiche für das Herdenmanagement in der Milchviehhaltung (Quelle: verändert nach LfL (2022))

➡ Zuchtausrichtung auf Methanreduzierung

Wiederkäuer unterscheiden sich in der Menge ihrer enterischen Methanproduktion, da die Zusammensetzung der methanbildenden Mikroben im Verdauungstrakt von Tier zu Tier unterschiedlich ist. Durch gezielte züchterische Anpaarungen von Wiederkäuern, die weniger Methan produzieren, ist es möglich, den natürlichen Methanausstoß zu reduzieren. Einen minimalen Methanausstoß als Zuchtziel zu etablieren, brächte eine dauerhafte, kosteneffiziente und kumulative Methanreduzierung [7].

Kapitel 6 Ansatzpunkte zur Emissionsminderung in der Rinderfütterung



Ansatzpunkte zur Emissionsminderung in der Rinderfütterung

- Steigerung des Stärkeanteils in der Ration
- Bedarfs- und wiederkäuergerechte Proteinversorgung
- Optimierung der mikrobiellen Stickstoffausnutzung
- Einsatz behandelter Proteine
- Weidefütterung
- Futterzusätze

➡ Steigerung des Stärkeanteils in der Ration

Je nachdem, wie die Futtermittelration in der Rinderhaltung gestaltet wird, kann die Methanbildung im Pansen reduziert werden. Ein höherer Anteil an stärkereicheren Futterkomponenten fördert die Propionsäurebildung, bei der weniger Methan freigesetzt wird. Günstig sind hier Futtermittel, die die Energie über leicht verdauliche Zellwandbestandteile (Pektine) bringen, wie z. B. Pressschnitzelsilage, Trockenschnitzel oder Biertreibersilage sowie Futtermittel mit hohem Gehalt an pansenstabiler Stärke (z. B. Körnermais). Eine ausreichende Strukturwirksamkeit der Rationen sowie die Begrenzung der Gehalte an leicht verdaulichen Kohlenhydraten (Stärke und Zucker) ist zu beachten, um Pansenfermentationsstörungen zu vermeiden.

➡ Bedarfs- und wiederkäuergerechte Proteinversorgung

Mit einer leistungsbezogenen Gruppierung der Rinder und einer angepassten, bedarfsgerechten Ration kann die Menge an ausgeschiedenem Stickstoff reduziert werden und damit auch die Entstehung von N-haltigen Treibhausgasen.

Fütterung in der Milchproduktion

Beim Einsatz von Total-Misch-Rationen (TMR) sollten mindestens zwei im Proteingehalt abgestufte Rationen zum Einsatz kommen, um die sich ändernden Ernährungsbedürfnisse zu berücksichtigen. Noch besser kann den Bedürfnissen bei unterschiedlichem Laktationsniveau durch den Einsatz zwei verschiedener Kraftfuttermittel im Abrufautomat entsprochen werden.

Fütterung in der Fleischerzeugung und Jungrinderaufzucht

Um den unterschiedlichen Wachstumsstadien gerecht zu werden, ist es von Vorteil Total-Misch-Rationen in der Jungrinder- und Bullenmast einzusetzen. Generell wird eine dreiphasige Mast empfohlen, in der zwischen Anfangs- (200 kg - 350 kg), Mittel- (350 kg - 550 kg) und Endmast (über 550 kg) unterschieden wird. Dabei werden im Rohprotein- und Energiegehalt abgestufte Mischungen verwendet (Megajoule = MJ, metabolische Energie = ME): 136 g Rohprotein und 11,5 MJ ME/kg in der Anfangsmast, 130 g Rohprotein und 11,4 MJ ME/kg in der Mittelmast und 125 g Rohprotein und 11,3 MJ ME/kg in der Endmast [8].



Bedarfsgerechte Inhaltsstoffe in den verschiedenen Futterphasen sorgen für altersgerechte Versorgung und vermeiden Mangelsituationen als Auslöser für Erkrankungen und Verhaltensabweichungen.

➔ Optimierung der mikrobiellen Stickstoffausnutzung

Zur Versorgung der Rinder mit Protein und zur effizienten Stickstoffnutzung ist es entscheidend, dass ein möglichst großer Anteil des im Vormagen freigesetzten Stickstoffs für den Aufbau von mikrobiellem Protein genutzt wird. Grundlage hierfür ist die ausreichende Bereitstellung von Energie und Stickstoff. Nur bei optimalem Energie-Protein-Verhältnis in der Ration wird das vom Futter gelieferte Eiweiß durch Pansenmikroben in hochverdauliches mikrobielles Eiweiß umgewandelt. Die Futtergabe sollte über Mischrationen zur gleichzeitigen Aufnahme aller Futtermittel erfolgen. In der Milchkuhfütterung ist es ratsam, den Laktationsstart durch eine angepasste Fütterung der Altmelker und zweigeteilte Fütterung trockengestellter Kühe bestmöglich zu unterstützen.



Der entscheidende Einflussfaktor für die Ammoniak- und Lachgasemissionen ist die Ausnutzung der mit dem Futter aufgenommenen Stickstoffmenge.

In der Fleischerzeugung (Mutterkuhhaltung, Bullenmast und Jungrinderaufzucht ab 300 kg LM) ist nicht nur der Proteinbedarf des Tieres selbst, sondern auch der N-Bedarf der Pansenmikroben zu berücksichtigen. Spätestens ab einer Lebendmasse von 300 kg reicht eine Rohproteinzufuhr in Höhe des Bedarfs im Dünndarm nicht mehr aus, um auch eine ausreichende N-Versorgung der Pansenmikroben zu gewährleisten [9] [10].

➔ Einsatz behandelter Proteine

Für Wiederkäuer ist das im Dünndarm verfügbare Protein die entscheidende Größe. Der Proteinbedarf an nutzbarem Protein im Dünndarm ist üblicherweise höher als die im Dünndarm verfügbare Menge an gebildetem Mikrobenprotein. Die Differenz muss folglich durch nicht-mikrobiell abgebautes Futterprotein, wie "pansenstables Eiweiß" oder "Durchflussprotein", bereitgestellt werden. Der Beitrag nicht-mikrobiell abgebauten Futterproteins wird also umso wichtiger, je höher die Leistung ist [9]. Eine Überversorgung an Rohprotein sollte dennoch im Hinblick auf die N-Ausscheidung vermieden werden.

➔ Weidefütterung

Eine weidebasierte Rinderhaltung ist im Hinblick auf die emissionsärmere Grobfutterbereitstellung gegenüber Mais- und Grassilagen günstiger zu bewerten. Der Anbau von Silomais und Futtergras, aber auch die Silierung bzw. Heuwerbung auf dem Grünland sind mit einem höheren Verbrauch an fossiler Energie verbunden. Zudem entstehen durch den geringeren Rohfaseranteil im Weidegras weniger verdauungsbedingte Emissionen als bei Grassilage und Heu.

Balance zwischen Stall- und Weidefütterung finden

Eine große Herausforderung der Weidehaltung - vor allem bei hochleistenden Tieren - ist die bedarfsgerechte Fütterung. Im Gegensatz zur reinen Stallhaltung ist die Futteraufnahme bei Weidehaltung weniger gut kontrollierbar und die Kühe nehmen zum Teil nicht ihrer Milchleistung entsprechendes Futter auf. Mangelerkrankungen und Stoffwechselerkrankungen können die Folge sein. Weidehaltung ist gleichzeitig ein wichtiges Element einer tiergerechten Rinderhaltung, denn sie stellt die Haltungsform dar, die den Bedürfnissen des Rindes hinsichtlich seines natürlichen Verhaltens am nächsten kommt [11].



Weidefütterung ist aus ethologischer Sicht das natürlichste Haltungsverfahren. Im Hinblick auf eine ausreichende Nährstoff- und Energieaufnahme spielen die Quantität und Qualität von Weideaufwüchsen eine große Rolle. Beeinflusst werden sie vom Alter des Grases, der Bestandszusammensetzung, dem Pflegezustand, der Düngung, dem Nutzungszeitpunkt, dem Standort und der Wasserverfügbarkeit. Gezielte Zufütterungen von Milchleistungsfutter, Silagen und Heu sowie regelmäßige Überprüfungen der Stoffwechselgesundheit sichern die Pansengesundheit und unterstützen das Tierwohl.

➡ Futterzusätze

Eine wirksame, aber derzeit noch nicht ausreichend ergründete Maßnahme, ist der Einsatz von Futterzusatzstoffen, wie Nitrat, NOP bzw. 3-NOP¹, Fette, Tannine und ätherische Öle. Diese können eine reduzierende Wirkung auf die Methanbildung erreichen [12] [13] [14]. Sie haben das Potenzial, die Besiedelung des Pansens mit methanogenen Mikroorganismen zu unterdrücken. Der erhöhte Einsatz von Futterfetten ist jedoch wegen ihrer Kosten und gleichzeitigen Auswirkung auf die Verdaulichkeit, Futteraufnahme und Milchleistung zu überdenken. Gleiches gilt für Tannine und ätherische Öle hinsichtlich der Sensorik und deren Auswirkung auf die Futteraufnahme. Offen ist ebenfalls deren dauerhaften Effekte. Bei längerem Einsatz der Produkte zeigt sich teilweise eine rückläufige Wirkung.

¹ 3-Nitrooxypropanol

Kapitel 7 Ansatzpunkte zur Emissionsminderung im Rinderhaltungssystem



Ansatzpunkte zur Emissionsminderung im Rinderhaltungssystem

- Reduktion von Futterverlusten
- Außenklimastall
- Laufhof/ Auslauf mit Einstreu
- Weidegang
- Gassensoren zur Überwachung
- Stallkühlung
- Emissionsarme Stallböden
- Ausreichend Einstreumaterial
- Reduktion der Luftaustauschrate im Güllekeller
- Hybride Lüftung/ (Teilstrom)-Abluftreinigung (Unterflurlüftung)
- Ureaseinhibitoren (UI)
- Zeitnahe Überführung der Gülle zur Biogasgewinnung

➔ Reduktion von Futterverlusten

Futterreste, die auf dem Futtergang nicht nachgeschoben werden oder in den Fressgang fallen, werden von den Tieren nicht mehr aufgenommen und gelangen ungenutzt in den Wirtschaftsdünger. Dort werden sie mikrobiell zersetzt und tragen auch zu Ammoniakemissionen bei. Um dies zu verhindern, hat sich eine etwa 30 cm bis max. 40 cm hohe, geschlossene Begrenzung zwischen Futtertisch und Fressgang bewährt. Hohe Fressgitter mit oder ohne Selbstfangeinrichtung sowie Palisadengitter gewährleisten zudem ein natürliches Abschlucken, wodurch ebenfalls Futterverluste vermindert werden können.

➔ Außenklimastall

In Außenklimaställen herrschen höhere Luftwechselraten mit geringeren Stalltemperaturen, wodurch diese Stallform in Bezug auf die Emissionsmengen Vorteile hat. Eine Ausrichtung der Längsachse des Stalls quer zur Hauptwindrichtung und ein gewisser Mindestabstand zu Nachbargebäuden sichern die notwendige freie Luftanströmung. Unterstützend können Stallventilatoren und Curtains eingesetzt werden (Abbildung 11). Hohe Lüftungsraten werden auch im Winter benötigt, damit die anfallende Wasserdampfmenge abgeführt werden kann. Allerdings sollten die Strömungsgeschwindigkeiten an emittierenden Oberflächen so gering wie möglich gehalten werden. Die Gestaltung der Laufflächen und Entmistung sollten so ausgeführt werden, dass die Ammoniakemissionen minimiert werden können. Dazu gehören ein rasches und ungehindertes Abfließen des Harns sowie ein entsprechend häufigeres Entmistungsintervall (mehrfach am Tag) bei Schieber- und Robotersystemen.



Abbildung 11: Außenklimastall mit Stallventilatoren und Curtains (Bildquelle: F. Becker, INL GmbH)

Fördert das
Tierwohl!

Außenklimaställe und Ställe mit Außenklimareiz fördern die Tiergesundheit durch ein optimiertes Stallklima. Zur Aufrechterhaltung der Körperfunktionen muss besonders in den Wintermonaten auf ausreichenden Schutz vor zu niedrigen Temperaturen in Kombination mit Nässe geachtet werden.

➔ Laufhof/ Auslauf mit Einstreu

Bei planbefestigten Ausläufen mit Einstreu sind zum Auffangen der Sickersäfte Jauchesammelrinnen die beste Wahl, um unkontrollierte Abflüsse zu verhindern. Positiv auf das Emissionsgeschehen wirkt sich zudem eine Überdachung des Auslaufes zum Schutz vor Regen aus. Gleichzeitig trocknen die Flächen nach der Reinigung schneller ab. Eine zeitnahe Beförderung der Exkremente in abgedeckte Außenlager wird empfohlen.

Den Vorteilen von Laufhöfen stehen die höheren Ammoniakemissionen im Vergleich zu Ställen ohne Laufhöfe gegenüber. Durch einen Laufhof vergrößert sich die „emissionsaktive Bodenoberfläche“ und die Ammoniakverluste nehmen zu (Tabelle 3). Maßnahmen im Stall und Laufhof allein genügen nicht, um die Verluste zu minimieren. Abgedeckte Güllelager und die Ausbringung mit Schleppschlauchverteilern unterstützen die Maßnahmen zur Verminderung der gesamten Ammoniakemissionen im Stall.

Tabelle 3: Ammoniakemissionen verschiedener Haltungsformen in der Milchviehhaltung in kg NH₃-N/Kuh und Jahr (Quelle: verändert nach KTBL (2015))

Emissionsort	I	II	III	IV
Stall	11,80	7,87	9,44	7,08
Auslauf		13,33		8,00
Weide			1,00	1,00
Gesamt	11,80	21,20	10,44	16,08
Lager	6,62	4,91	5,29	4,79
Ausbringung	18,74	13,91	14,99	13,58
Gesamt	37,16	40,02	30,73	34,46

Szenario I: Liegeboxenlaufstall

Szenario II: Liegeboxenlaufstall mit Auslauf

Szenario III: Liegeboxenlaufstall mit Weidegang

Szenario IV: Liegeboxenlaufstall mit Auslauf und Weidegang



Laufhöfe wirken sich positiv auf das Tierbefinden aus und bieten den Tieren vor allem im Winter eine Alternative für mehr Bewegung und Außenklimareize. Der positive Einfluss der Bewegung auf Gesundheit, Kondition, Fruchtbarkeit und Leistung der Tiere wirkt sich jedoch nur bei regelmäßigem Auslauf nachhaltig aus. Empfohlen werden eine Größe von 2,5 m² pro Kuhplatz und eine Mindestbreite von 5 m.

➔ Weidegang

Weidegang bei Rindern verursacht bei gleichbleibenden N-Ausscheidungen geringere Ammoniakemissionen im Vergleich zur Stallhaltung. Bei den Ausscheidungen auf der Weide werden Harn und Kot räumlich getrennt abgesetzt. Der Harn, als Hauptquelle für NH₃, sickert schnell in den Boden ein und Stickstoff wird als Ammonium an Bodenpartikel gebunden. Es können ab einer bestimmten Weidedauer (mindestens 6 Stunden pro Tag an 180 Tagen im Jahr) bis zu 15 % der Ammoniakemissionen vermieden werden [15]. Grundvoraussetzung hierfür ist, dass gleichzeitig alle emittierenden Oberflächen im Stall gereinigt und trocken gehalten werden, nachdem die Tiere den Stall verlassen haben.

Betriebe mit Weidegang schneiden im Vergleich zu Betrieben mit ausschließlicher Stallhaltung im Hinblick auf die Treibhausgasemissionen besser ab, auch wenn z. B. die direkt auf der Weide anfallenden Emissionen höher sind. Grund dafür sind vor allem die niedrigeren Emissionen aus dem Futteranbau und der Wirtschaftsdüngerlagerung [16].



Weidehaltung ist gleichzeitig ein wichtiges Element einer tiergerechten Rinderhaltung, denn sie stellt die Haltungsform dar, die den Bedürfnissen des Rindes hinsichtlich seines natürlichen Verhaltens am nächsten kommt. Ausreichende tägliche Bewegung in frischer Luft beansprucht und trainiert den gesamten Körper, den Bewegungsapparat, Herz, Kreislauf sowie Atmung und stärkt die körpereigene Abwehr gegen Infektionskrankheiten. Zusätzlich kann durch die direkte Einwirkung der UV-Strahlung der Sonne im Tierkörper die Bildung von lebenswichtigem Vitamin D3 (Calcium-Stoffwechsel) erfolgen. Oftmals weisen Weidetiere eine längere Nutzungsdauer auf, was sich zusätzlich positiv auf die CO₂-Bilanz auswirkt.

➔ Gassensoren zur Überwachung

Zur eigenen Strategieplanung im Hinblick auf die Klimagaskonzentration im Stall ist es wichtig, Kenntnisse über die Temperatur, die Luftfeuchtigkeit als auch die Gaskonzentrationen zu gewinnen. Maßgebend sind hierbei die Grenzwerte der DIN 18910, bezogen auf bestimmte Schadgase, u. a. Ammoniak und CO₂-Massen- und Wärmeströme für den Winter- und Sommerbetrieb in Rinderställen. Hierbei können entsprechende Sensorsysteme zur Messung eingesetzt werden. Ziel ist es, eine schadgasgeregelte Lüftung über eine Prozessregelung mit einem Soll-Ist-Abgleich zwischen voreingestellten Werten und aktuell gemessenen Stallgrößen zu steuern.

Der Markt bietet fünf grundsätzliche Varianten:

- halbleitende Gassensoren
- Kontaktverbrennungsgassensoren
- Festelektrolytgassensoren
- elektrochemische und
- optische Gassensoren

Gekoppelt sind diese Sensoren nach Wunsch auch mit einer digitalen Schnittstelle, um die Informationen im Büro des Verantwortlichen nutzbar zu machen.



In der Rinderhaltung ist eine gute Gestaltung des Stallklimas die Grundlage für gesunde Tiere. Insbesondere in den Übergangszeiten und Wintermonaten in denen geringe Lüftungsraten zu hohen Schadgaskonzentrationen im Stall führen, fördert eine schadgasgeregelte Lüftung die Tiergerechtigkeit und die Tiergesundheit im Stall.

➔ Stallkühlung

Zur Gesunderhaltung und bestmöglichen Ausschöpfung des Leistungspotenzials der Tiere ist ein optimales Stallklima von Vorteil. Grundlage hierfür sind ein geringer Wärmeeintrag und eine stetige Durchlüftung des Stalls. Bei optimalem Stallklima (u. a. durch niedrigere Temperaturen, ausreichenden Luftwechsel, gutes Reinigungsmanagement) lassen sich zudem die Ammoniakemissionen um bis zu 30 % verringern [17].

Gedämmte Dächer verhindern, dass im Sommer Wärme durch Sonneneinstrahlung in den Innenraum gelangt und mindern gleichzeitig im Winter die Kondensatbildung und Frostgefahr. Für eine ausreichende Durchlüftung zu jeder Jahreszeit und Windbeschaffenheit sind große Lüftungsöffnungen von

0,5 bis 1,5 m²/Tier und eine Querausrichtung der Längsachse zur Hauptwindrichtung des Stalls wirksam. Siehe dazu Abbildung 12.

Stallkühlung für Rinder:

- Umluftventilatoren
- Abluftventilatoren
- Hoch- und Niederdruckkühlung (Vernebeln und Besprühen)

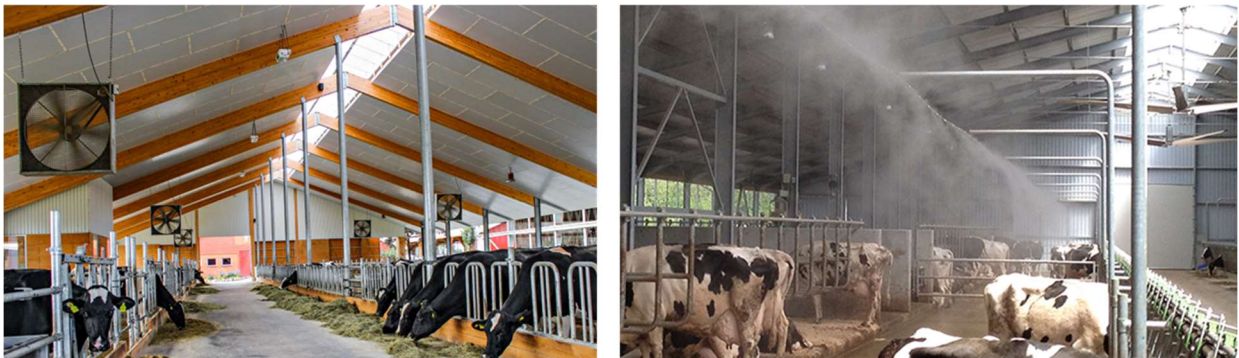


Abbildung 12: Stallkühlung in der Milchviehhaltung, links: Axial-Ventilatoren über dem Futtertisch in Längsrichtung (Bildquelle: Meier Brakenberg), rechts: Hochdruckvernebelung über den Liegeflächen (Bildquelle: A. Fübeker)



Die höhere Frischluftzufuhr, der Abtransport von Schadgasen und Feuchtigkeit, die Abführung der Tier- und Strahlungswärme im Sommer und der Ausgleich von großen Temperaturunterschieden bzw. Turbulenzen im Stall steigern die Tiergesundheit und damit das Leistungspotenzial der Tiere.

➔ Emissionsarme Stallböden

Die Grundlage für die Reduktion von Ammoniakemissionen im Stall sind eine vollständige, gründliche und regelmäßige Reinigung aller Laufflächen und der rasche Abfluss des Harns in den Güllekanal.

Schnelle Kot-Harn-Trennung im Stall

Die schnelle Trennung von Kot und Harn reduziert zum einen die Emissionen im Stall und bringt zusätzlich den Vorteil, dass die unterschiedlichen in der Düngung nutzbaren N-Stoffströme von Harn (N als Ammonium, in Harnstoff) und Kot (organisch gebundener N) frühzeitig getrennt werden. Somit ist eine bedarfsgerechte und mit geringen Nährstoffverlusten verbundene Wirtschaftsdüngernutzung möglich. Gängige Verfahren der Gülleaufbereitung setzen erst im Lager an. Hierdurch bleiben die entstehenden Emissionen im Stall unberücksichtigt.

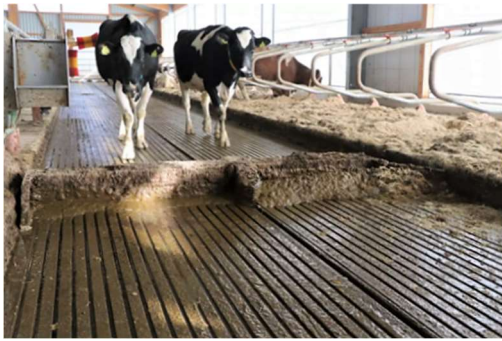


Abbildung 13: Rillenböden zur schnellen Harnableitung (Bildquelle: M. Pahlke, agrarheute (2019))

Über baulich-technische Maßnahmen wie Schrägbodenställe mit planbefestigter Fläche, Laufflächen mit 3 % Quergefälle und Harnsammelrinne oder Laufflächen mit offenen Rillen und Finger- oder Unterflurschieberentmischung kann der Harn getrennt vom Kot gesammelt und schließlich gelagert werden. Durch die Neigung der Laufflächen in Schrägbodenställen kann eine NH_3 -Emissionsminderung von 21 % gegenüber Spaltenbodenlaufflächen erreicht werden. Der Einfluss von 3 % Quergefälles bei Laufflächen mit Harnsammelrinne und häufigem Entmisten auf die Ammoniakemissionsminderung beträgt 20 % [18] (Abbildung 13). Die Minderungswirkung von offenen Rillen, durch die der Harn ablaufen kann, werden mit 46 % bis 50 % gegenüber Spaltenböden angegeben [15][19].

Andere baulich-technische Maßnahmen sind geschlossene Rillenböden mit einer perforierten Abdeckung oder offene Rillenböden, durch die der Harn ablaufen kann. Gegenüber Spaltenböden haben die abgedeckten, perforierten Rillenböden eine Minderungswirkung von 46 %. Für die offenen Rillenböden wurde eine geringere Minderungswirkung von 35 % beobachtet, weil die Perforierungen verstopfen können und der Urin dadurch schlecht abläuft [19].

Reinigung von planbefestigten Laufflächen

Eine kontinuierliche Reinigung erfolgt bei planbefestigten Böden mit stationären Schieberentmischungen, die Flüssigmist und Einstreureste mehrmals täglich aus dem Stall entfernen. In der Regel laufen diese Systeme mehrmals täglich, mindestens alle 2 Stunden (Abbildung 14).

In Laufställen empfiehlt sich eine Erhöhung des Fressstandes in Kombination mit stationärer Schieberentmischung. So kann die Oberfläche des Fressganges sauber gehalten werden und schneller abtrocknen.

Abbildung 14: Außenklimastall mit stationärer Schieberentmischung, die Flüssigmist und Einstreureste mehrmals täglich aus dem Rinderstall entfernt (Bildquelle: F. Becker, INL GmbH)



Reinigung von Spaltenböden

Die Sauberhaltung der Spaltenböden kann durch den Einsatz von Reinigungsrobotern erfolgen, die den aufliegenden Kot regelmäßig in die Spalten schieben. Der Einsatz von Sprüheinrichtungen auf Spalten- oder planbefestigten Böden verbessert den Reinigungseffekt und führt zu einer Emissionsminderung, da die Oberflächen sauber gehalten werden und schneller abtrocknen. Die Exkremente werden von dort aus in Intervallen oder kontinuierlich ins Flüssigmistlager überführt.



Trockene und saubere Laufflächen haben eine große Bedeutung für die Klauengesundheit und die damit verbundene Bewegungssicherheit in den verschiedenen Funktionsbereichen im Stall. Bewegung aktiviert den Kreislauf und hat deutliche Vorteile in Bezug auf Fitness, Immunsystem und Futteraufnahme. Sowohl die flächeneffiziente Anordnung der Funktionsbereiche Fressen, Liegen, Melken als auch die konsequente Sauberhaltung der Laufflächen unterstützen die freie Bewegung im Stall.

➔ Ausreichend Einstreumaterial

Trockene Einstreu ist eine der Voraussetzungen für eine geringe Ammoniakbildung. In der Regel dient Lang- oder Häckselstroh als Einstreumaterial. Ein häufiges und ausreichendes Nachstreuen (Tabelle 4) fördert die Absorption von Feuchtigkeit.

Tabelle 4: Orientierungswerte für Stroheinstreu in der Milchviehhaltung (Quelle: verändert nach KTBL (2018))

Haltungsverfahren Milchvieh	Je Tier und Tag
Liegeboxenstall Liegeboxen Laufbereich Festmistsysteme	0,1 - 2,0 kg 1,0 - 4,5 kg
Tiefstreustall Lauf- und Liegebereich	6,0 - 15,0 kg
Tretmiststall Liegebereich	4,0 - 7,0 kg



Eingestreute Liegeflächen werden von Rindern gegenüber nicht eingestreuten Liegeflächen bevorzugt. Ein eingestreuter und verformbarer Untergrund ermöglicht einen höheren Liegekomfort für erholsame Tiefschlafphasen, senkt das Verletzungsrisiko, beugt Erkrankungen durch Auskühlen (Wärmedämmung) vor und vermeidet das Auftreten von Technopathien (v. a. an Karpal-, Fessel- und Sprunggelenken) und Hautinfektionen.

➔ Reduktion der Luftaustauschrate im Güllekeller

Ein Teil der Ammoniakemissionen resultiert aus dem Flüssigmist, der sich unter den Spaltenböden befindet. Wird an dieser Stelle der Luftaustausch zwischen dem Flüssigmist in den Kanälen und dem Stall reduziert, mindert sich dort das Potenzial zusätzlicher Ammoniakemissionen. Dies kann durch den Einsatz von selbstverschließenden Gummiklappen erreicht werden.

➔ Hybride Lüftung/ (Teilstrom)-Abluftreinigung (Unterflurlüftung)

Eine hybride Lüftung ist eine mechanische Unterstützung eines Stalls mit freier Lüftung in Form einer Unterflurabsaugung im Güllekanal. Die abgesaugte Luft wird gebündelt und in einer Abluftreinigungsanlage behandelt. Durch die gezielte Luftführung unter den Spalten ist eine Reduktion der Ammoniakemissionen von 64 % bis 83 % [20] möglich (Abbildung 15).

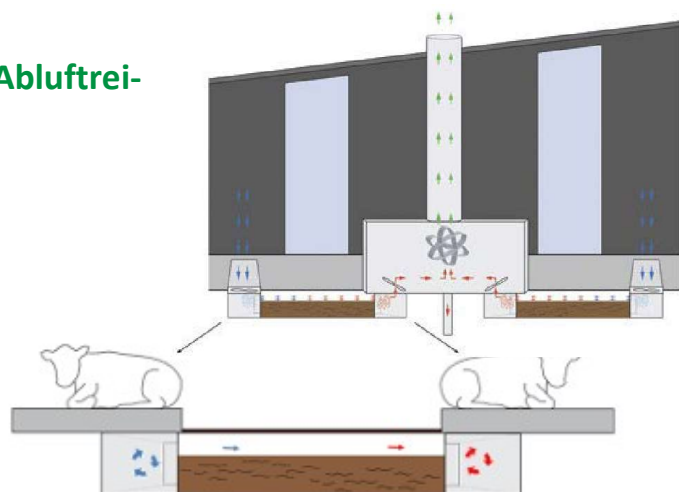


Abbildung 15: Reinigung der Luft durch Unterflurabsaugung im Güllekanal (Quelle: AgriFarm (2022))

➔ Ureaseinhibitoren (UI)

Es gibt eine Reihe von organischen und anorganischen Verbindungen, die die enzymatische Hydrolyse von Harnstoff zu Ammonium reduzieren (Abbildung 16). Besonders in der flüssigen Phase der Ausscheidungen befinden sich vorwiegend Stickstoffverbindungen in Form von Harnstoff. Dieser Harnstoff wird auf feuchten, (vor-)verunreinigten Flächen durch das mikrobielle Enzym Urease und genügend Wasser zu Ammoniak abgebaut. Diese Hydrolyse läuft sehr schnell ab, wobei Harnstoff bei 10 °C auf normal verschmutzten Stallflächen innerhalb von zwei Stunden komplett abgebaut wird.

Der Einsatz von „neuartigen UI“ aus der Gruppe der Phosphorsäureamine führt in Rinderställen zu einer Minderung der NH_3 -Verluste von bis zu 50 % [21]. Die Applikation auf den Laufflächen sollte in Kombination mit der Reinigung der Stallabteile mittels Rückenspritze (manuell) oder mit Applikations-scheibe (automatisch) aufgetragen werden. Für den Unterflurbereich eignet sich eine Applizierung mit automatischen Düsen.

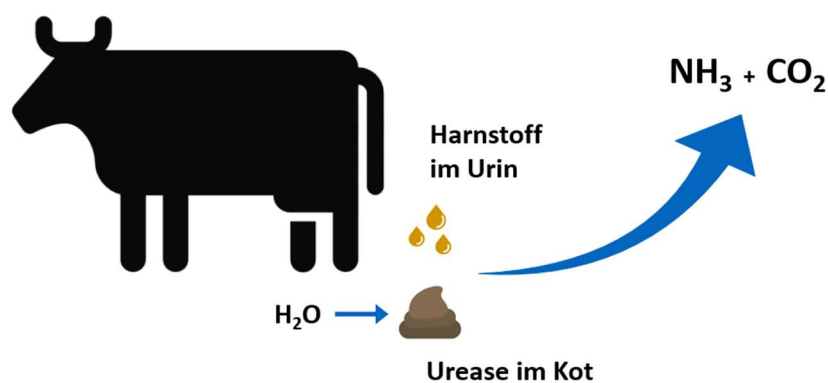


Abbildung 16: Ammoniakbildung (Quelle: verändert nach KTBL (2014))

Der Einsatz von UI führt zu höheren verbleibenden Stickstoffmengen im Stalldünger, die einerseits dessen Nährstoffwert erhöhen, aber auch vermehrte Ammoniakemissionen im Lager hervorrufen. Hier sind begleitende Maßnahmen in der Wirtschaftsdüngerlagerung und -ausbringung zu beachten.



Der Einsatz von Ureaseinhibitoren reduziert nicht nur die Ammoniakemissionen, sondern verbessert dadurch auch die Stallluftqualität und damit die Tiergesundheit und Arbeitsbedingungen im Stall.

➔ Zeitnahe Überführung der Gülle zur Biogasgewinnung

Effektive Einsparungen lassen sich durch eine zeitnahe Überführung der Güllemengen aus der Unterflurlagerung in abgedeckte Lager und mit einer häufigen Reinigung des Güllekanals realisieren.

Im Falle einer Biogasnutzung sollte die anfallende Stallgülle dem Fermenter umgehend zugeführt werden, da ein großer Anteil der Methanfreisetzung bereits innerhalb der ersten Woche stattfindet. Stallbaukonzepte mit direkter Überführung des anfallenden Wirtschaftsdüngers in die Biogasanlage sind hier von Vorteil.

Kapitel 8 Ansatzpunkte zur Emissionsminderung im Wirtschaftsdüngermanagement der Rinderhaltung



Ansatzpunkte zur Emissionsminderung im Wirtschaftsdüngermanagement

- Verringerung der Emissionsoberfläche
- Abdeckung von Güllelager
- Gülleensäuerung
- Abdeckung von Festmistlagern
- Kompostierung
- Unkontrollierten Abfluss vermeiden

➔ Verringerung der Emissionsoberfläche

Durch eine Güllelagerung in Hoch- oder Tiefbehältern mit einem kleinen Verhältnis von Behälteroberfläche zu Behältervolumen werden im Bereich der Flüssigmistlagerung Emissionen reduziert. Für Festmistlager sind Seitenwände zur Verkleinerung der emissionsaktiven Oberfläche zu empfehlen.

➔ Abdeckung von Güllelagern

Durch eine Abdeckung der Oberflächen wird der Gasaustausch mit der Umgebung verhindert. Zusätzlich ist bei fester Abdeckung ein Eintrag an Niederschlagswasser ausgeschlossen, wodurch weniger Lagerraum vorgehalten werden muss und eine Verdünnung der Gülle verhindert wird. Es können verschiedene Materialien eingesetzt werden, die für Ammoniakemissionen einerseits und für Lachgas- und Methanemissionen andererseits teils gegenläufige Wirkungen besitzen (Tabelle 5).

Tabelle 5: Abdeckungen für Behälter und deren Emissionsminderungspotenziale für Ammoniak (Quelle: Döhler et al. (2011))

Art der Abdeckung	Minderung gegenüber nicht abgedeckten Güllebehältern in %	Anmerkungen
Natürliche Schwimmdecke	30 - 80	Geringe Wirksamkeit bei häufiger Gülleausbringung
Künstliche Schwimmdecke		
Strohhäcksel	70 - 90	Strohhäcksel: Gefahr erhöhter THG-Emissionen
Granulate	80 - 90	Ausgleich von Materialverlusten
Schwimmfolie	80 - 90	geringer Wartungsaufwand, Kosten
Feste Abdeckungen		
Zelt, Kunststoffabdeckung	85 - 95	Geringer Wartungsaufwand, kein Regenwassereintrag, längste Nutzungsdauer
befahrbarer Betondeckel	85 - 95	

Die Emissionswirkung hängt davon ab, ob die Materialien semipermeable oder vollständig gasdichte Oberflächen bilden und die Prozesse unter vollständigem (Zeltdach) oder teilweise vollständigem Sauerstoffausschluss (Strohhäcksel, Granulate) stattfinden. Semipermeable Abdeckungen reduzieren die Ammoniakemissionen, bewirken jedoch höhere Lachgasemissionen (Strohhäcksel). Technisch gasdichte Abdeckungen (Plastikfolien) reduzieren neben Ammoniak auch Methan und Lachgas (bis zu 95 % [22]) (Tabelle 5).

Bei fehlender baulicher Abdeckung des Güllebeckens bestehen folgende Möglichkeiten für eine Nachrüstung:

Natürliche Schwimmdecke

Bei ausreichend hohem TS-Gehalt bildet sich bei Rindergülle eine natürliche Schwimmdecke, die als Barriere für CH_4 - und NH_3 -Emissionen dienen kann, wenn sie während der Lagerdauer intakt bleibt. Allerdings wird von einer Schwimmdecke aus Stroh abgeraten, weil sie wiederum die Methanfreisetzung erhöht.

Schwimmfolie

Der Luftaustausch mit der Umgebung wird reduziert. Jedoch ist sie besonders anfällig für Beschädigungen durch äußere Einflüsse. Zusätzlich könnte die Unterseite durch das Rührwerk beschädigt werden.

Leichtgutschüttungen aus Blähton

Sie stellen ebenfalls eine einfache und effektive Variante zur Emissionsminderung dar, deren Wirkung mit 80 % bis 90 % angegeben wird. Vorteilhaft ist, dass Schüttungen auch bei Wind stabil bleiben. Jährlich müssen ca. 10 % des Materials aufgefüllt werden.

Gülleansäuerung

In Gülle besteht ein Reaktionsgleichgewicht zwischen Ammoniak als Gas (NH_3) und seinen Ionen (NH_4^+ und OH^-), welches sich pH- und temperaturabhängig verändert. Je niedriger der pH-Wert und die Temperatur, desto weniger NH_3 wird gebildet und freigesetzt. In Deutschland ist das Verfahren noch nicht weit verbreitet, erste Anlagen sind jedoch bereits genehmigt. Die Gülle wird hierzu aus einem geschlossenen Tank außerhalb des Stalles geleitet und dort mit Säure versetzt. Anschließend wird ein Teil der Gülle wieder in den Stall geleitet und dort mit der Stallgülle vermischt. Ziel ist es, die Gülle auf einen pH-Wert von 5,5 einzustellen und somit Emissionsminderungen von bis zu 90 % zu erreichen [8] [19]. Hinzu kommt eine deutliche Verringerung der Methanemissionen. Ein Ansäuern der Gülle ist aktuell nur begrenzt möglich, da die Handhabung mit starken Säuren sowohl gesundheitlich als auch materiell (hohe Kosten, Korrosion der Behälter) zu bedenken ist.

Abdeckung von Festmistlagern

Niedrigere Ammoniakemissionen lassen sich bei Festmist durch eine Verdichtung des Stapels und eine Lagerung ohne wendende Maßnahmen erreichen. Hierbei können allein durch die Verdichtung Minderungspotenziale von bis zu 61 % erreicht werden. Wenn der Festmiststapel ohne zu wenden gelagert wird, können Emissionen um 77 % verringert werden [22]. Nachteil dieser Verfahren ist jedoch, dass teilweise höhere Methanemissionen entstehen können.

Kompostierung

Regelmäßiges Umsetzen von Festmist führt zu einer Reduktion von Methanemissionen, da der anaerobe Abbau von organischem Material verhindert wird.

Unkontrollierten Abfluss vermeiden

Bei der Lagerung von Festmist kann ablaufendes Sickerwasser und verunreinigtes Niederschlagswasser sowie Jauche in oberirdische Gewässer und das Grundwasser gelangen. Zusätzlich besteht die Gefahr von Ammoniakemissionen, die jedoch durch ein Sammel- und Auffangsystem und einer anschließenden Lagerung in geschlossenen Behältern reduziert werden können.

Kapitel 9 Ansatzpunkte zur Emissionsminderung in der Schweinefütterung



Ansatzpunkte zur Emissionsminderung in der Schweinefütterung

- Rohproteinangepasste Fütterung
- Aminosäureversorgung optimieren
- Mikrobiellen N-Ausnutzung optimieren

➔ Rohproteinangepasste Fütterung

Durch eine bedarfsgerechte Differenzierung der Futterrationen nach Lebendmasse und Leistungsniveau der Tiere, wird eine optimale Energie- und Aminosäureversorgung sichergestellt. Dies spart Rohprotein ein und senkt

die Ausscheidung überschüssigen Stickstoffs. Das Umwandlungspotenzial in den Exkrementen wird reduziert und senkt Ammoniak- und Lachgasemissionen. Die Anpassung sollte in der Ferkelerzeugung mindestens zweiphasig gestaltet werden, um den unterschiedlichen Rohproteinbedarfen während der Tragephase und der Zeit des Säugens gerecht zu werden.

In der Schweinemast wird eine Fütterung unterteilt nach drei unterschiedlichen Bedarfsphasen empfohlen. Insbesondere in der Endmast sind die Minderungspotenziale durch eine Absenkung des Rohproteingehaltes im Futter aufgrund der großen Futtermengen hoch (Tabelle 6).

Tabelle 6: Emissionsminderungsmaßnahmen durch Phasenfütterung (Referenz: Einphasenfütterung mit 18 % Proteingehalt) (Quelle: verändert nach KTBL (2014))

	Reduktionspotenzial	Anmerkungen
2-Phasen-fütterung	bis 10 %	✓ Anpassung Vor- und Hauptmast ✓ von 18 % auf 15 % RP
Mehrphasen-fütterung 3 - 4 Phasen	bis 20 %	✓ Anpassung in mehrwöchigen Abständen ✓ von 18 % auf 13 % RP ✓ Ausgleich essentieller Aminosäuren
Multiphasen-fütterung	bis 40 %	✓ tägliche Anpassung ✓ von 18 % auf 13 % RP ✓ Ausgleich essentieller Aminosäuren

Fördert das Tierwohl!

Bedarfsgerechte Inhaltsstoffe in den Futterphasen sorgen für altersgerechte Versorgung und vermeiden Mangelsituationen als Auslöser für Verhaltensabweichungen und Krankheiten [23]. Mehr Informationen: DLG-Merkblatt 463 „Fütterung und Tierwohl beim Schwein-Teil a: Futter, Fütterung und Faserstoffversorgung“.

➡ Aminosäureversorgung optimieren

Um eine ausreichende Versorgung an essenziellen Aminosäuren (Lysin, Methionin, Threonin, Valin, Isoleucin) im Verhältnis zum Energiebedarf sicherzustellen, können die Futterr ration gezielt mit freien Aminosäuren ergänzt werden. Dadurch kann der Proteingehalt einer Ration bei bedarfsdeckender Aminosäureversorgung reduziert werden.

➡ Mikrobielle N-Ausnutzung optimieren

Obwohl in der Verdauung der Schweine die Umsetzung durch körpereigene Enzyme dominiert, entwickelt sich im Laufe des Lebens eine Mikrobe npopulation im Dickdarm. Die Bindung von Stickstoff im Dünn- und Dickdarm wird dadurch, ähnlich wie bei Wiederkäuern, möglich. Im Dickdarm steht dadurch vermehrt Energie zur Bildung von Mikrobenmasse zur Verfügung. Eine Möglichkeit zur Verringerung der N-Ausscheidungen mit dem Harn ist der Einsatz pektinhaltiger Futtermittel, wie Rüben und deren Nebenerzeugnisse. Der überschüssige Stickstoff aus dem Stoffwechsel wird hierbei im Dickdarm zur Bildung von Bakterieneiweiß genutzt und mit dem Kot ausgeschieden.

Kapitel 10 Ansatzpunkte zur Emissionsminderung im Schweinehaltungssystem



Ansatzpunkte zur Emissionsminderung im Schweinehaltungssystem

- Reduktion von Futterverlusten
- Außenklimaställe
- Mastschweinehaltung mit Auslauf
- Gassensoren im Stall
- Stallkühlung
- Emissionsarme Stallböden
- Verweilzeit von Kot und Harn im Stall senken
- Verkleinerte Güllekanäle
- Reduktion der Luftaustauschrate im Güllekeller
- Güllekühlung im Stall
- Ureaseinhibitoren (UI)
- Gülleansäuerung
- Abluftreinigung (zwangsgelüftete Ställe)
- Ausreichend Einstreumaterial
- Regelmäßige Entmistung bei Festmistsystemen
- Zeitnahe Überführung der Gülle zur Biogasgewinnung

➔ Reduktion von Futterverlusten

Es gibt verschiedene Möglichkeiten Futterverluste im Stall zu reduzieren. Hierfür eignet sich z. B. Futterautomaten und die seitliche Anbringung der Tränken an den Futtertrog. Die Schweine sind dadurch weniger dazu verleitet, das Futter zur Tränke zu „verschleppen“. Zusätzlich können unter dem Trog angebrachte Gummimatten herausfallendes Futter auffangen. Die größten Erfolge werden durch den Einsatz von Langtrögen mit sensorgesteuerter Flüssigfütterung erzielt, bei dem die Futterzuteilung entsprechend des Futteraufnahmeverhaltens geregelt wird. Zusätzlich verhindern seitliche Abgrenzungen der Tröge durch Abteilwände, dass das Futter aus dem Trog geräumt werden kann. Auch Fressplatzteiler sind zur Reduktion der Futterverluste im Schweinestall positiv zu bewerten.

➔ Außenklimaställe

In Außenklimaställen herrschen höhere Luftwechselraten mit geringeren Stalltemperaturen, wodurch diese Stallform in Bezug auf die Emissionsmengen Vorteile hat. Eine Ausrichtung der Längsachse des Stalls quer zur Hauptwindrichtung und ein gewisser Mindestabstand zu Nachbargebäuden sichern die notwendige freie Luftanströmung. Wichtig ist eine klare Strukturierung der Funktionsbereiche im Außenklimastall und deren zielgerichtete Nutzung durch die Schweine. Die Nutzung kann durch spezielle Maßnahmen unterstützt werden. So fördert z. B. die Anbringung der Tränken im Außenbereich, dass dort auch der Kotbereich der Schweine angelegt und die emissionsaktive Oberfläche kleingehalten wird. Erste Untersuchungen zeigen Emissionsminderungspotenziale für Ammoniak von 15 % bis 30 % [20].



Hinsichtlich des Tierwohls bieten Außenklimaställe gegenüber geschlossenen, wärmedämmten Ställen zahlreiche Vorteile für Schweine. Durch das Angebot unterschiedlicher Aktionsräume erhöhen sich die Klima- und Bewegungsreize, die das Wohlbefinden stärken und den Erkundungsdrang stillen. Für einen hohen Tierkomfort ist im Winter auf die Dichtigkeit der Liegekisten zu achten, um unerwünschten Wärmeverlusten vorzubeugen. Im Sommer ist auf eine Beschattung der Ausläufe zu achten, um die Tiere vor Sonnenbrand und großer Hitze zu schützen.

➔ Mastschweinehaltung mit Auslauf

Frei belüftete Haltungssysteme mit Auslauf sind für Mastschweine hinsichtlich der Ammoniakemissionen gegenüber zwangsgelüfteten Ställen nicht schlechter zu bewerten. Relevant zur Emissionskontrolle ist das Management der verschmutzten Bereiche, insbesondere des Auslaufs. Um die Emissionen gering zu halten, sind eine regelmäßige Reinigung und ausreichende Einstreu bei planbefestigten Ausläufen wichtige Managementmaßnahmen. Ebenso verhält es sich bei Ausläufen mit Spaltenboden, bei denen eine regelmäßige Reinigung der Spalten notwendig ist, wenn die Tiere den Kot nicht ausreichend durch die Spalten treten. Der Einsatz eines Unterflurschiebers kann hier ebenfalls die Emissionen im Auslauf reduzieren.



Ausläufe wirken sich positiv auf das Wohlbefinden aus und bieten den Tieren vor allem im Winter eine Alternative für mehr Bewegung und Außenklimareize. Der positive Einfluss von Bewegung auf Gesundheit, Kondition, Fruchtbarkeit und Leistung der Tiere wirkt sich jedoch nur bei regelmäßiger Auslaufhaltung nachhaltig aus. Empfohlen werden eine Größe von 0,5 m² pro Tier in der konventionellen Haltung und 1 m² pro Tier in der ökologischen Haltung.

➔ Gassensoren im Stall

Zur eigenen Strategieplanung im Hinblick auf die Klimagaskonzentration im Stall ist es wichtig, Kenntnisse über die Temperatur, die Luftfeuchtigkeit als auch die Gaskonzentrationen zu gewinnen. Hierbei können entsprechende Sensoren zur Messung eingesetzt werden. Maßgebend sind hierbei die Grenzwerte der DIN 18910, bezogen auf die bestimmten Schadgase, u. a. Ammoniak und CO₂-Massen- und Wärmeströme für den Winter- und Sommerbetrieb in Schweineställen.

Der Markt bietet im Bereich der Gaskonzentrationsmessgeräte fünf grundsätzliche Varianten:

- halbleitende Gassensoren
- Kontaktverbrennungsgassensoren
- Festelektrolytgassensoren
- elektrochemische und
- optische Gassensoren

Gekoppelt sind diese Sensoren nach Wunsch auch mit einer digitalen Schnittstelle, um die Informationen im Büro des Verantwortlichen nutzbar zu machen.



In der Schweinehaltung ist eine gute Gestaltung des Stallklimas die Grundlage für gesunde Tiere. Insbesondere in den Übergangszeiten und Wintermonaten in denen geringe Lüftungsraten zu hohen Schadgaskonzentrationen im Stall führen, fördert eine schadgasgeregelte Lüftung die Tiergerechtigkeit und die Tiergesundheit im Stall.

➔ Stalkühlung

Die Absenkung des Temperaturniveaus im Stall reduziert die mikrobiellen Abbauprozesse von Harnstoff, Harnsäure und Proteinen in den Exkrementen. Eine ganzjährige niedrige Stalltemperatur reduziert somit das Emissionspotenzial. Die Stalltemperatur kann über Zuluftkühlung durch wassergespeiste Kühlpads an der zentralen Außenluftöffnung oder auch durch Unterflurzuluft durch den Betonunterbau erfolgen. Der Stall sollte zusätzlich ein wärmegeprägtes Dach besitzen. Die Buchten sollten über eine Hochdruckvernebelung verfügen, damit im Sommer kein Hitzestau entsteht.

Technische Maßnahmen zur Stalkühlung:

- Hoch- und Niederdruckkühlung (Vernebeln und Besprühen)
- Padkühlung, Kühlwürfel
- Ventilatoren
- spezielle Lüftungen



Leistungsfähige Lüftungen und Kühlungen können helfen, die Hitzebelastung von Schweinen bei hohen Außentemperaturen zu verringern. Schweine besitzen keine Schweißdrüsen und können ihren Körper nicht wie andere Tiere mit Verdunstungskälte kühlen. Je nach Alter haben Schweine bestimmte Temperaturoptima, die bei der Stalkühlung berücksichtigt werden müssen.

➔ Emissionsarme Stallböden

Die Grundlage für die Reduktion von Ammoniakemissionen im Stall sind eine vollständige, gründliche und regelmäßige Reinigung aller Laufflächen und der rasche Abfluss des Harns in den Güllekanal.

Schnelle Kot-Harn-Trennung im Stall

Die schnelle Trennung von Kot und Harn im Stall reduziert zum einen die Emissionen im Stall und bringt zusätzlich den Vorteil, dass die unterschiedlichen in der Düngung nutzbaren N-Stoffströme von Harn (N als Ammonium, in Harnstoff) und Kot (organisch gebundener N) frühzeitig getrennt werden. Somit ist eine bedarfsgerechte und mit geringen Nährstoffverlusten verbundene Wirtschaftsdüngernutzung möglich. Gängige Verfahren der Gülleaufbereitung setzen erst im Lager an. Hierdurch bleiben die entstehenden Emissionen im Stall unberücksichtigt.

Ein Verfahren zur Kot-Harn-Trennung ist der Einsatz von Kotförderbändern unterhalb der Spalten in den Güllekanälen, die den Kot sammeln und in ein Kotlager außerhalb des Stalls transportieren. Der Harn wird über Perforierungen im Kotförderband nach unten abgeleitet und separat in einem Kanal gesammelt. Die Minderungspotenziale liegen für Ammoniak bis zu 78 % und für Methan bis zu 76 % [19]. Die Effektivität hängt stark vom Kotbanddesign ab. Dieses System kann nachträglich im Stall eingebaut werden.

Zur Förderung eines raschen Abflusses des Harns in den Güllekanal können Böden mit einer leichten Neigung bzw. glatten Oberflächen eingesetzt werden. Mit dem Einsatz von dreidimensionalen Strukturspaltenböden aus Kunststoff und einem Schlitzanteil von 3,8 % konnte gegenüber einem Standardspaltenboden aus Beton eine Ammoniakreduzierung von rund 23 % im Winter bzw. 37 % im Sommer erzielt werden [8] [24].

➔ Verweilzeit von Kot und Harn im Stall senken

Mit einer regelmäßigen Reinigung des Güllekanals, auch während der Mastperiode, können Ammoniakemissionen reduziert werden. Die Güllemengen sollten dann in ein abgedecktes Güllelager überführt werden. Auf diese Weise wird die Verweilzeit des reaktiven Materials im Stall reduziert.

➔ Verkleinerte Güllekanäle

Die Größe des Abflusskanals kann durch glatte, V-förmige Kunststoffwannen mit geneigten, glatten Seitenwänden verkleinert werden. Dies bewirkt einen raschen Abfluss der Gülle. Je sauberer das System gehalten wird, desto effektiver lassen sich Ammoniakemissionen bis zu 50 % [25] mindern (Abbildung 17).



Abbildung 17: Geneigte, glatte Seitenwände zur Verkleinerung des Abflusskanals (Bildquelle: L. Wokel, Uni Hohenheim)

➔ Verringerung der Luftaustauschrate im Güllekeller

In zwangsgelüfteten Schweineställen können niedrige Luftgeschwindigkeiten über Rieselkanal- oder Futterganglüftungen realisiert werden. Hierdurch wird der Austausch emissionsaktiver Oberflächen im Laufbereich und im Güllekanal so gering wie möglich gehalten.

➔ Güllekühlung im Stall

Um die mikrobielle Aktivität zu senken, ist es hilfreich, die Gülle mittels Wärmetauscher bzw. -pumpen auf eine Zieltemperatur von unter 15 °C zu kühlen. Hierzu werden im Kanalboden Kühlrohre oder -schlangen eingebetoniert, die an einen Kühlkreislauf angeschlossen sind und somit die in der Gülle enthaltene Wärme aufnehmen und abführen (Abbildung 18). Diese Abwärme kann für andere Stallbereiche genutzt werden. Das Minderungspotenzial für Ammoniakemissionen liegt bei 10 %.



Abbildung 18: Verlegung von Kühlrohren bzw. Kühlschlangen im Boden des Güllekellers (Bildquelle: Ingenieurbüro Honsa GbR)



Abbildung 19: Kühlung durch schwimmende Kühlrippen im Güllekanal (Bildquelle: L. Wokel, Uni Hohenheim)

Bei einer Nachrüstung können die Kühlrohre oder -schlangen auf dem Kanalboden eingebaut werden. Ein System zur Nachrüstung sind Kühlrippen, die knapp unter der Gülloberfläche im Kanal schwimmen (siehe Abbildung 19). Die Zuverlässigkeit dieser Technik ist jedoch insbesondere bei faserreicher Gülle, die Schwimmdecken ausbilden kann (Rindergülle, Schweinegülle bei faserreicher Fütterung), eingeschränkt. Die Ammoniakreduzierung wird je nach Kühlleistung auf 30 % bis 60 % geschätzt [26].

➔ Ureaseinhibitoren (UI)

Der in flüssigen Ausscheidungen enthaltene Harnstoff wird auf feuchten, (vor-)verunreinigten Flächen durch das mikrobielle Enzym Urease und genügend Wasser zu Ammoniak abgebaut. Diese Hydrolyse läuft sehr schnell ab, wobei Harnstoff bei 10 °C auf normal verschmutzten Stallflächen innerhalb von zwei Stunden komplett abgebaut wird. Ein Ureaseinhibitor blockiert die Umwandlung von Harnstoff zu Ammoniak durch das Enzym Urease.

Der Einsatz von „neuartigen UI“ aus der Gruppe der Phosphorsäureamine führt in Schweineställen zu einer Minderung der Ureaseaktivität um 60 % bis 100 % [21]. Durch den Einsatz der UI ist eine Ammoniakminderung von 30 % bis 40 % möglich [19].

Die Reinigung der Stallabteile zwischen den Produktionszyklen in Kombination mit einer Applikation von UI auf den Flächen mindert die Ammoniakemissionen. Die UI können auf den Laufflächen per Rückenspritze (manuell) oder mit Applikationsscheibe (automatisch) aufgetragen werden. Für den Unterflurbereich eignet sich eine Applikation mit automatischen Düsen.

Weiterhin führt der Einsatz von UI im Stall zu höheren verbleibenden Stickstoffmengen im Stall, die einerseits dessen Nährstoffwert erhöhen, aber auch zu vermehrten Ammoniakemissionen im Lager führen. Hier sind begleitende Maßnahmen in der Wirtschaftsdüngerlagerung und -ausbringung zu beachten.



Der Einsatz von Ureaseinhibitoren reduziert nicht nur die Ammoniakemissionen, sondern verbessert dadurch auch die Stallluftqualität und damit die Tiergesundheit und Arbeitsbedingungen im Stall.

➔ Abluftreinigungsanlagen

Abluftreinigungsanlagen mindern in der Schweinehaltung die Emissionen an Ammoniak, Gerüchen und Staub. Sie setzen eine geschlossene Gebäudehülle mit Zwangslüftung voraus, da die Abluft der Ställe in Kanälen gesammelt und mithilfe von Ventilatoren durch die Reinigungsanlage geleitet werden muss. Es stehen verschiedene Techniken zur Verfügung, die im Sinne der „Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft“ eingesetzt werden können (Tabelle 7). Das Reduktionspotenzial der Abluftreinigungsanlagen für Ammoniakemissionen wird mit bis zu 70 % [25] angegeben.

Tabelle 7: Techniken und Mindestreinigungsleistungen eignungsgeprüfter und qualitätsgesicherter Abluftreinigungsanlagen (Quelle: verändert nach TA-Luft (2021))

Parameter	Biofilter	Rieselbett-reaktor	Chemo-wäscher	Zwei- oder mehrstufige Anlage
Geruch im Reingas				
Konzentration	< 300 GE _E /m ³		1)	< 300 GE _E /m ³
Geruchsart	kein Rohgasgeruch im Reingas		1)	kein Rohgasgeruch im Reingas
Abscheidegrad				
Ammoniak/ N-Entfrachtung	> 70 % ²⁾	> 70 %	> 70 %	> 70 %
Gesamtstaub/ PM 10-Staub	> 70 %	> 70 %	> 70 %	> 70 %

GE_E = europäische Geruchseinheit

¹⁾ Einstufige Chemowäscher sind nicht geeignet, die Kriterien der Geruchsabbaus zu erzielen.

²⁾ Wirkung nur bei entsprechender Auslegung und Betrieb mit Ansäuerung und geregelter Abschlammung.

➔ Ausreichend Einstreumaterial

In Festmistsystemen ist eine trockene Einstreudecke eine wichtige Voraussetzung für eine geringere Ammoniakbildung. In der Regel dient Lang- oder Häckselstroh als Einstreumaterial. Ein häufiges und ausreichendes Nachstreuen (Tabelle 8) sowie regelmäßiges Entmisten fördern die Absorption von Feuchtigkeit. In Kombination mit einer speziellen Lüftung, einer auf das System abgestimmten Fütterung und einem Rotteaktivator können Festmistssysteme auch für Warmställe eine Option sein. Bei planbefestigten Ausläufen sind zum Auffangen der Sickersäfte Jauchesammelrinnen die beste Wahl, um unkontrollierte Abflüsse zu verhindern.

Die Haltung von Schweinen in Gruppen und auf Stroh wird in Brandenburg ab dem 01.01.2023 gefördert (weiterführende Informationen: siehe „Richtlinie des Ministeriums für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz zur Förderung der Haltung von Schweinen in Gruppen und auf Stroh“ [27]).



Schweineställe mit Stroheinstreu fördern das natürliche Verhalten der Schweine. Sie besitzen ein mit der Nahrungssuche verbundenes, intensives Erkundungsverhalten, welches durch Einstreu bedient werden kann. Weiterhin bevorzugen sie weiche, trockene Liegeflächen, die durch Einstreu verwirklicht werden können. In den Sommermonaten ziehen sie jedoch kühle und wärmeableitende Liegeflächen vor.

Tabelle 8: Orientierungswerte für Stroheinstreu in der Mastschweinehaltung (Quelle: verändert nach KTBL (2018))

Haltungsverfahren Mastschweine	Je Tier und Tag
Außenklimastall ohne Auslauf	0,3 kg
Außenklimastall mit Auslauf, eingestreut	0,8 kg
Tiefstreu	0,7 – 1,2 kg
Schrägboden	0,1 – 0,3 kg

➔ Regelmäßige Entmistung bei Festmistsystemen

Mit einer regelmäßigen Entmistung kann die Entstehung von Methan im Stall verringert werden. Insbesondere die Flachstreuhaltung von Schweinen ist mit geringen Methanemissionen verbunden.

➔ Zeitnahe Überführung der Gülle zur Biogasgewinnung

Um Methanemissionen im Wirtschaftsdüngermanagement zu reduzieren, ist eine Vergärung der Exkreme in Biogasanlagen mit anschließend geschlossener Lagerung der Gärreste sinnvoll. Die anfallende Stallgülle sollte dem Fermenter rasch zugeführt werden, da ein großer Anteil der Methanfreisetzung bereits innerhalb der ersten Woche stattfindet. Stallbaukonzepte mit direkter Überführung des anfallenden Wirtschaftsdüngers in die Biogasanlage sind hier von Vorteil.

Kapitel 11 Ansatzpunkte zur Emissionsminderung im Wirtschaftsdüngermanagement der Schweinhaltung



Ansatzpunkte zur Emissionsminderung im Wirtschaftsdüngermanagement

- Verringerung der Emissionsoberfläche
- Abdeckung der Güllebecken
- Abdeckung der Festmistlager
- Gülleansäuerung
- Stallmistkompostierung
- Unkontrollierten Abfluss vermeiden

➔ Verringerung der Emissionsoberfläche

Minderungsmaßnahmen bei der Lagerung sind im Bereich der Flüssigmistlagerung durch eine Lagerung in Hoch- oder Tiefbehältern mit einem kleinen Verhältnis von Behälteroberfläche zu Behältervolumen möglich. Für Festmistlager sind Seitenwände zur Reduzierung der emissionsaktiven Oberfläche sinnvoll.

➔ Abdeckung der Güllebecken

Durch eine Abdeckung der Oberflächen wird der Windeinfluss und somit der Gasaustausch mit der Umgebung vermindert. Zusätzlich verhindern feste Abdeckungen einen Eintrag an Niederschlagswasser, wodurch weniger Lagerraum vorgehalten werden muss und eine Verdünnung der Gülle verhindert wird. Es können verschiedene Materialien eingesetzt werden, die für Ammoniakemissionen einerseits und für Lachgas- und Methanemissionen andererseits teils gegenläufige Wirkungen besitzen. Die Emissionswirkung hängt davon ab, ob die Materialien semipermeable oder vollständig gasdichte Oberflächen bilden und die Prozesse unter vollständigem (Zeltdach) oder teilweise vollständigem Sauerstoffausschluss (Strohhäcksel, Granulate) stattfinden. Durch semipermeable Abdeckung (Strohhäcksel) wird die Freisetzung von Lachgas erhöht und die Ammoniakfreisetzung reduziert. Technisch gasdichte Abdeckungen (Plastikfolien) reduzieren neben Ammoniak auch Methan und Lachgas (Tabelle 9). Güllelagerabdeckungen können auch nachträglich installiert werden. Eine Möglichkeit stellt die Schwimmfolie dar. Diese ist jedoch individuell zu prüfen, da die Unterseite durch das Rührwerk beschädigt werden könnte. Leichtgutschüttungen aus Blähton stellen eine einfache und effektive Variante zur Ammoniakemissionsminderung dar, deren Wirkung mit 77 % [28] angegeben wird. Gegenüber Methan haben sie keinen Einfluss. Die Schüttungen bleiben auch bei Wind stabil. Jährlich müssen ca. 10 % des Materials aufgefüllt werden. Schwimmkörper anderer Art, wie "Hexa-Cover", bilden ebenfalls eine geeignete Lösung zur Ammoniakeinsparung. Strohhäckselauflagen sind ebenfalls eine Möglichkeit. Diese Schwimmdecke muss jedoch bis zu zweimal jährlich erneuert werden.

➔ Abdeckung der Festmistlager

Niedrigere Ammoniakemissionen lassen sich bei Festmist durch eine Verdichtung des Stapels und eine Lagerung ohne wendende Maßnahmen erreichen. Hierbei können allein durch die Verdichtung Minderungspotenziale von bis zu 61 % erreicht werden. Wenn der Festmiststapel ohne zu wenden gelagert wird, kann ein Rückgang der Emissionen um 77 % erreicht werden [22]. Nachteil dieser Verfahren ist jedoch, dass teilweise höhere Methanemissionen auftreten (Tabelle 9).

Tabelle 9: Abdeckung für Behälter und deren Emissionsminderungspotenziale für Ammoniak (Quelle: verändert nach TA-Luft (2021))

Art der Abdeckung	Minderung gegenüber nicht abgedeckten Güllebehältern in %	Anmerkungen
Natürliche Schwimmdecke	20 - 70	Geringe Wirksamkeit bei häufiger Gülleausbringung
Künstliche Schwimmdecke		
Strohhäcksel	70 - 90	Strohhäcksel: Gefahr erhöhter THG-Emissionen
Granulate	80 - 90	Ausgleich von Materialverlusten
Schwimmfolie	80 - 90	geringer Wartungsaufwand, Kosten
Schwimmkörper	>90	Schweinegülle ohne Schwimmdecke, besondere Sorgfalt beim Homogenisieren/ Absaugen erforderlich
Feste Abdeckungen		
Zelt, Kunststoffabdeckung	85 - 95	Geringer Wartungsaufwand, kein Regenwassereintrag, längste Nutzungsdauer
befahrbarer Betondeckel	85 - 95	

➔ Gülleansäuerung

In Gülle besteht ein Reaktionsgleichgewicht zwischen Ammoniak als Gas (NH_3) und seinen Ionen (NH_4^+ und OH^-), welches sich pH- und temperaturabhängig verändert. Je niedriger der pH-Wert und die Temperatur, desto weniger NH_3 wird gebildet und freigesetzt. In Deutschland ist das Verfahren noch nicht weit verbreitet, erste Anlagen sind jedoch bereits genehmigt. Dem Verfahren liegt die Idee zu Grunde, dass in den Güllekanälen des Stalles eine auf pH 5,5 angesäuerte Gülle vorgehalten wird. Die Exkremente werden beim Durchtreten direkt von der angesäuerten Gülle umschlossen, wodurch eine Emissionsminderung an Ammoniak von bis zu 60 % bis 70 % erreicht werden kann [8] [19]. Ein Ansäuern der Gülle ist aktuell nur begrenzt möglich, da die Handhabung mit starken Säuren sowohl gesundheitlich als auch materiell (hohe Kosten, Korrosion der Behälter) zu bedenken ist.

➡ Stallmistkompostierung

Eine Schichtkompostierung ermöglicht eine ausreichende Belüftung des Kompostmaterials und unterdrückt die Methan- und Stickstoffemissionen. Bei ausreichendem Sauerstoffangebot lassen sich die N_2O -Bildungsraten, in Abhängigkeit der anfänglichen Stickstoffgehalte, ebenfalls minimieren. Insgesamt führt die Mistkompostierung jedoch zu hohen Kohlenstoffverlusten. Im Verlauf einer Kompostperiode nehmen die Emissionen von Ammoniak und Methan innerhalb der ersten drei Wochen fast vollständig ab und die N_2O -Emissionen parallel zu, bevor dann die N_2O -Bildung ebenfalls langsam zurückgeht.

Für Lachgas werden Maximalwerte nach zwei bis sechs Wochen gemessen. Die CO_2 -Bildung erreicht kurz nach dem Ansetzen maximale Werte, um dann über einen Zeitraum von mehr als drei Monaten kontinuierlich abzunehmen. Es wird eine Kompostperiode von zehn Wochen empfohlen. Neben dem Abfall der CO_2 -Werte spricht auch der CH_4 -Abfall für diesen Zeitraum [29].

➡ Unkontrollierten Abfluss vermeiden

Bei der Lagerung von Festmist kann ablaufendes Sickerwasser und verunreinigtes Niederschlagswasser sowie Jauche in oberirdische Gewässer und ins Grundwasser gelangen. Zusätzlich besteht die Gefahr von Ammoniakemission, die durch ein Sammel- und Auffangsystem und einer anschließenden Lagerung in geschlossenen Behältern reduziert werden kann.

Platz für Ihre Notizen

This image shows a single sheet of white paper with horizontal green ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.

Literatur

- [1] BMWK (2022): „Klimaschutz in Zahlen, Aktuelle Emissionstrends und Klimaschutzmaßnahmen in Deutschland - Ausgabe 2022“, Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, Berlin. Verfügbar unter: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Klimaschutz/klimaschutz-in-zahlen.html>.
- [2] UBA (2021): „Ammoniak, Geruch und Staub“, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/landwirtschaft/umweltbelastungen-der-landwirtschaft/ammoniak-geruch-staub#rechtliche-grundlagen-und-minderungsziele>.
- [3] C. Deblitz (2021): „Politikfolgenabschätzung zu den Empfehlungen des Kompetenznetzwerks Nutztierhaltung“, Braunschweig. Verfügbar unter: https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn063574.pdf.
- [4] D. Fraser (2022): „Understanding animal welfare“, gehalten auf der The role of the veterinarian in animal welfare. Animal welfare: too much or too little? The 21st Symposium of the Nordic Committee for Veterinary Scientific Cooperation (NKVet) 24-25 September 2007, 2008.
- [5] Dialog Milch (2018): „Über Trächtigkeitskontrollen, Tierwohl und Antibiotika-Einsatz: Mit dem "Land-Tier-Arzt" unterwegs“.
- [6] F. Missfeldt, R. Missfeldt, und K. Kuwan (2015): „Ökonomisch optimale Nutzungsdauer von Milchkühen“, Züchtungskunde, Stuttgart, S. 120–143. Verfügbar unter: https://www.zuechtungskunde.de/artikel.dll/zueku-2015-02-missfeldt-et-al_gydsmbmsg44q.pdf.
- [7] R. J. Wallace et al. (2019): „A heritable subset of the core rumen microbiome dictates dairy cow productivity and emissions“, Sci. Adv., Bd. 7, Nr. 5, doi: <https://10.1126/sciadv.aav8391>.
- [8] KTBL (2021): „Ammoniakemissionen in der Landwirtschaft mindern“, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. Verfügbar unter: https://www.ktbl.de/fileadmin/user_upload/Artikel/Emissionen/Ammoniakemissionen_in_Landwirtschaft_mindern.pdf.
- [9] M. Kirchgessner (2014): „Tierernährung“, Frankfurt am Main: DLG-Verlag GmbH.
- [10] LfL (2021): „Gruber Tabelle zur Fütterung der Milchkühe, Zuchtrinder, Schafe, Ziegen“, LfL - Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising-Weihenstephan, 47.
- [11] „Verbesserung des Tierwohls bei Weidehaltung von Milchkühen“. Verfügbar unter: <https://www.mud-tierschutz.de/mud-tierschutz/wissen-dialog-praxis/milchkuehe/weidehaltung-von-milchkuehen>.
- [12] S. R. O. Williams (2020): „Supplementing the diet of dairy cows with fat or tannin reduces methane yield, and additively when fed in combination“, Animal, Bd. issue S3, Nr. 14, S. 464–472.
- [13] B. R. Min et al. (2020): „Dietary mitigation of enteric methane emissions from ruminants: A review of plant tannin mitigation options“, Anim. Nutr., Nr. 6, S. 234–246, doi: <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2020.05.002>.
- [14] A. Belanche et al. (2020): „A Meta-analysis Describing the Effects of the Essential oils Blend Agolin Ruminant on Performance, Rumen Fermentation and Methane Emissions in dairy Cows“, Animals, Nr. 10:620, Art. Nr. 10:620, doi: <https://doi.org/10.3390/ani10040620>.
- [15] C. R. Braam, J. J. M. H. Keterlaars, M. C. J. Smits (1997): „Effects of floor design and floor cleaning on ammonia emission from cubicle houses for dairy cows.“, Neth. J. Agric. Sci., Nr. 45, S. 49–64.
- [16] F. Antony (2021): „Sichtbarmachung versteckter Umweltkosten der Landwirtschaft am Beispiel von Milchproduktionssystemen“, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, Abschlussbericht 129/2021.
- [17] LfL (2022): „Ammoniak im Fokus – Wieviel gelangt aus Rinderställen in die Luft?“. Verfügbar unter: <https://www.lfl.bayern.de/verschiedenes/presse/pms/2022/290986/index.php>.
- [18] HBLFA (2017): „Bautagung Raumberg-Gumpenstein gemäß Fortbildungsplan des Bundes Tierhaltungsnews aus Forschung und Praxis“, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Raumberg-Gumpenstein.
- [19] U. Häußermann, M. Bach, L. Breuer, und H. Döhler (2019): „Potenziale zur Minderung der Ammoniakemissionen in der deutschen Landwirtschaft-Berechnung der Minderungspotenziale von Maßnahmen im Bereich Landwirtschaft zur Reduktion der nationalen Ammoniakemissionen und Entwicklung von Szenarien zur Einhaltung der Reduktionsverpflichtungen der neuen NEC-Richtlinie (EU) 2284/2016“, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, Abschlussbericht.
- [20] S. Wulf (2017): Vortrag „Ammoniakemissionen in der Landwirtschaft Minderungsziele und -potenziale“, Aktuelle rechtliche Rahmenbedingungen für die Tierhaltung, Hannover.
- [21] M. Leinker (2007): „Entwicklung einer Prinziplösung zur Senkung von Ammoniakemissionen aus Nutztierställen mit Hilfe von Ureaseinhibitoren“, Dissertation, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Halle (Saale). Verfügbar unter: <https://opendata.uni-halle.de/handle/1981185920/9569>.
- [22] Y. Hou, G. L. Velthof, O. Oenema (2015): „Mitigation of ammonia, nitrous oxide and methane emissions from manure management chains: a meta-analysis and integrated assessment“, Glob. Change Biol., Nr. 21, S. 1293–1312. doi: <https://doi.org/10.1111/gcb.12767>.
- [23] DLG e. V. (2021): DLG Merkblatt 463: "Fütterung und Tierwohl Schwein". Frankfurt (Main): DLG-Verlag GmbH. Verfügbar unter: https://www.dlg.org/fileadmin/downloads/landwirtschaft/themen/publikationen/merkblaetter/dlg-merkblatt_463.pdf.

- [24] F. Austermann (2016): „Untersuchungen zur Verbesserung der Tiergerechtigkeit und Reduzierung der Ammoniak-Emissionen bei funktionsoptimierten Spaltenböden mit reduziertem Schlitzanteil.“, Dissertation, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Bonn, [Online]. Verfügbar unter: <https://www.deutsche-digitale-bibliothek.de/item/XVJ7RSHS7FJVPC3AA2MZBGZI7YA2GXID>.
- [25] BMUV (2021): „Neufassung der Ersten Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz“ („Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft“ – TA Luft). Verfügbar unter: https://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/bsvwvbund_18082021_Igi25025005.htm.
- [26] K. Wagner et al. (2021): Vortrag „EMIMIN Emissionsminderungsmaßnahmen in Milchvieh- und Mastschweineställen“. Verfügbar unter: https://www.ktbl.de/fileadmin/user_upload/Allgemeines/Download/EmiMin/EmiMin2021.pdf.
- [27] „Richtlinie des Ministeriums für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz des Landes Brandenburg zur Förderung der Haltung von Schweinen in Gruppen und auf Stroh“ vom 11.07.2022. Verfügbar unter: <https://mluk.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/RiLi-Schweinehaltung-auf-Stroh.pdf>.
- [28] T. Misselbrook, J. Hunt, F. Perazzolo, und G. Provolo (2016): „Greenhouse Gas and Ammonia Emissions from Slurry Storage: Impacts of Temperature and Potential Mitigation through Covering (Pig Slurry) and Acidification (Cattle Slurry)“, J. Env. Qual, Nr. 45, Art. Nr. 45, doi: <https://doi.org/10.2134/jeq2015.12.0618>.
- [29] H. J. Hellebrand und W.-D. Kalk, „Emissionen bei der Stallmistkompostierung“, Agrartech. Forsch., Bd. 6, Nr. 2, S. 6, 2000.

