



Nationale Drehscheibe  
Ammoniak

Beurteilung von emissionsmindernden Massnahmen im Rahmen der Drehscheibe Ammoniak

# Anforderungen an Verfahren zum Nachweis einer Reduktion von Ammoniakemissionen aus Nutztierställen – Bewertung von emissionsmindernden Techniken

Version: 01

Datum: 24.01.2025

Autoren/-innen:

Thomas Kupper<sup>1</sup>, Michael Zähler<sup>2</sup>, Markus Bucheli<sup>3</sup>, Kilian Appert<sup>4</sup>, Edith Paradis<sup>5</sup>, Patrick Burren<sup>6</sup>, Michel Fischler<sup>7</sup>, Barbara Steiner<sup>8</sup>, Annelies Uebersax<sup>8</sup>

<sup>1</sup>Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften HAFL, Zollikofen

<sup>2</sup>Agroscope, Tänikon

<sup>3</sup>Berufsbildungszentrum Natur und Ernährung, Hohenrain

<sup>4</sup>Arenenberg, Salenstein

<sup>5</sup>Landwirtschaftliches Institut des Kantons Freiburg, Posieux

<sup>6</sup>Landwirtschaftliches Zentrum Liebegg, Gränichen

<sup>7</sup>mf k&p, Zürich

<sup>8</sup>Agrofutura, Brugg

## 1. Einleitung

Das vorliegende Dokument erläutert, welche Anforderungen die Drehscheibe Ammoniak an den Nachweis einer Reduktion von Ammoniakemissionen aus Nutztierställen stellt. Dazu werden wichtige Grundlagen einer Emissionsmessung kurz erläutert, die üblichen Methoden zur Messung von Ammoniakemissionen aus Nutztierställen vorgestellt. Darauf basierend wird erklärt, welche Verfahren die Drehscheibe Ammoniak zur Bewertung von emissionsmindernden Techniken für Nutztierställe verwendet. Die Gründe für die Verwendung und deren Gewichtung für diese Bewertung werden aufgeführt und erläutert.

## 2. Grundlagen einer Emissionsmessung

Emission bedeutet die Freisetzung einer Stoffmenge in die Umwelt. Im Falle von gasförmigen Emissionen von Ammoniak (NH<sub>3</sub>) aus einem Stall erfordert die Bestimmung einer Emission zwingend die Messung der Ammoniakkonzentration im Stall und der Luftaustauschrate des Stalles. Mit einer mathematischen Formel lässt sich dies wie folgt darstellen:

$$E_{NH_3} = \text{Konz}_{NH_3} \times LR \quad (\text{Formel 1})$$

wobei  $E_{NH_3}$  die Emission von NH<sub>3</sub> (in g pro Stunde),  $\text{Konz}_{NH_3}$  die Konzentration von NH<sub>3</sub> (in g pro m<sup>3</sup>) und LR die Luftaustauschrate (in m<sup>3</sup> pro Stunde) sind.

Weiter müssen die Messungen die wichtigsten Grössen abdecken, welche die Emissionen beeinflussen. Dies sind der Luftaustausch und die Temperatur an der emittierenden

Oberfläche, die von den Tieren ausgeschiedene Menge von löslichem Stickstoff<sup>1</sup>, die Aktivitäten der Tiere (z.B. laufendes Absetzen der Ausscheidungen, Verteilen der Ausscheidungen auf den Flächen aufgrund der Bewegung der Tiere) sowie Managementmassnahmen wie die Reinigung des Stalls. Dies bedeutet, dass Messungen während aller drei Jahreszeiten Winter, Übergangszeit und Sommer durchgeführt werden müssen, da sich diese Grössen im Laufe eines Jahres verändern können. Eine Messperiode muss mindestens über 24 Stunden dauern, da die oben aufgeführten Einflussgrössen auch innerhalb eines Tages stark variieren. Bei Tierkategorien, welche innerhalb eines Umtriebs stark wachsen und dadurch über die Zeit unterschiedlich viel löslichen Stickstoff ausscheiden, muss der ganze Umtrieb erfasst werden. Diese Vorgaben sind auch in Messprotokollen der Niederlande (Ogink et al. 2017; Winkel et al., 2024) enthalten. Diese verlangen beispielsweise insgesamt 6 Messperioden von mindestens 24 Stunden Dauer über das Jahr verteilt, so dass alle drei Jahreszeiten abgedeckt sind. Die Niederlande hat weltweit weitaus am meisten Erfahrungen mit der Durchführung von belastbaren Emissionsmessungen. Diese Vorgaben wurden in andere international abgestützte Protokolle übernommen (z.B. VERA Sekretariat, 2018).

### 3. Methoden zur Messung von Emissionen

#### 3.1 Messungen im Labor- oder Pilotmassstab

Emissionsmessungen im Labor- oder Pilotmassstab finden in einem geschlossenen Raum (Labor oder Klimakammer) statt. Dabei wird in der Regel ein Muster eines zu untersuchenden Bodentyps mit Harn und/oder Kot verschmutzt. Ein Muster eines herkömmlichen Bodens (Referenzboden) wird analog behandelt. Dann wird entweder eine Kammer aufgesetzt (vgl. Kap. 3.2 Kammermessungen) oder die Muster werden je in eine separate Klimakammer gebracht. Eine Kammer oder eine Klimakammer lassen sich kontrolliert belüften, d.h. die Luftaustauschrate wird fix eingestellt oder gemessen. Zuluft und Abluft werden beprobt und die Konzentration von Ammoniak gemessen. Mithilfe der Formel 1 kann die Emission bestimmt werden.

Diese Messmethode hat die folgenden Vor- (+) und Nachteile (-):

- + Relativ einfach und kostengünstig.
- + Lange Messdauer möglich.
- "Künstliche Bedingungen" (Einfluss von Stallklima und Tieren sind ausgeschlossen).
- Sehr kleine Flächen, die nicht repräsentativ sind für die Bedingungen in einem Praxisstall.

#### 3.2 Kammermessungen

Bei Kammermessungen (auch Haubenmessung genannt) wird eine geschlossene Kammer mit Dimensionen von ca. 10 cm x 10 cm bis ca. 100 cm x 100cm auf die zu messende emittierende Fläche aufgesetzt. Die Kammer wird in der Regel belüftet und die Luftaustauschrate wird fix eingestellt oder gemessen. Beim Ein- und Austritt der Luft wird diese beprobt und die Konzentration von Ammoniak gemessen. Mithilfe der Formel 1 kann die Emission bestimmt werden. Teilweise werden mehrere Kammern installiert und die Emissionen wie beschrieben an verschiedenen Stellen im Stall gemessen (Abbildung 1).

Zur Untersuchung eines emissionsarmen Bodens in einem Praxisstall kann z.B. ein Teil einer Lauffläche mit einem emissionsarmen Boden und ein anderer Teil mit einem herkömmlichen Boden (Referenzboden) ausgerüstet werden. Wenn die Tiere ihre Ausscheidungen auf den beiden Flächen abgesetzt haben, werden diese abgesperrt und die Kammern

---

<sup>1</sup> Löslicher Stickstoff: vor allem den Harnstoff im Harn, der nach dem Ausscheiden rasch zu Ammonium und gelöstem Ammoniak abgebaut wird; auch TAN genannt; Engl. Total Ammoniacal Nitrogen = Summe von Ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) und gelöstem Ammoniak (NH<sub>3,i</sub>).

aufgesetzt für die Emissionsmessung. Oder die Flächen werden abgesperrt und ein Kot-Harngemisch wird vom Personal des Messinstituts gleichermassen auf den emissionsarmen Boden sowie den Referenzboden aufgebracht und anschliessend die Kammern aufgesetzt für die Emissionsmessungen.



Abbildung 1: Beispiel einer Kammermessung in einen Praxisstall (Quelle: Chiumenti et al., 2018).

Diese Messmethode hat die folgenden Vor- (+) und Nachteile (-):

- + Relativ einfach und kostengünstig.
- "Künstliche Bedingungen" (Einfluss von Stallklima und Tieren ausgeschlossen).
- Die Emissionen der beprobten Flächen sind kaum repräsentativ für den ganzen Stall.
- Zutritt zu Ställen durch Personal des Messinstituts nötig (Hygiene).
- Oft nur kurze Messdauer (wenige Stunden) möglich.

### 3.3 Frei gelüftete Ställe - Tracergas-Verfahren

#### 3.3.1 Emissionsversuchsstall

Ein Emissionsversuchsstall ist speziell für vergleichende Emissionsmessungen im Praxismassstab konzipiert. Er besteht aus mindestens zwei räumlich getrennten Stallabteilen für meist je 10-20 Tiere. Im Fall von Kühen, weisen diese Fressachse, Liegeboxen sowie Quergänge auf, wie dies in der Praxis auch vorkommt. Zusätzlich gibt es einen Bereich für Melken, Technik und Analytik (Abbildung 2; Mohn et al., 2018). Bei einem frei gelüfteten Emissionsversuchsstall wird die Luft im Stall mit mehreren Messleitungen im Dachbereich beprobt. Gleichzeitig erfolgt die Freisetzung einer bekannten Menge eines künstlichen Gases (sog. Tracergas) im Bereich der emittierenden Flächen (z.B. entlang der Kante der Liegeboxen). Die Konzentrationen von Tracergas und Ammoniak werden gemessen. Die Berechnung der Emission basiert auf der bekannten Menge des zudosierten Tracergases und dem Konzentrationsverhältnis von Tracergas zum im Stall emittierten Ammoniak. Damit entfällt die Bestimmung der Luftaustauschrate (Ogink et al., 2013), die in einem frei gelüfteten Stall praktisch nicht bzw. nur mit grosser Unsicherheit gemessen werden kann. Die beiden räumlich getrennten Stallabteile ermöglichen identische Versuchsbedingungen, z.B. um die Emission von einem emissionsmindernden Boden im Vergleich zu einem herkömmlichen Boden (Referenzboden) zu messen.

Diese Messmethode hat die folgenden Vor- (+) und Nachteile (-):

- + Aktuell die weitaus genaueste Methode für frei gelüftete Ställe.
- + Messung im Praxismassstab bzw. in einem Stall, der die Bedingungen wie vorliegend in einem Praxisstall bestmöglich abbildet.
- + Ein direkter Vergleich der Emissionen eines Stalls ohne und mit emissionsmindernder Technik ist möglich (Fall-Kontroll-Ansatz; vgl. Kap. 4).

- Eher kurze (wenige Tage) Messdauer pro Messkampagne, wegen den hohen Kosten des Tracergases.
- Begrenzte Verfügbarkeit: in Europa sind derzeit nur zwei bis drei solche Ställe für Rindvieh verfügbar.
- Hohe Kosten.

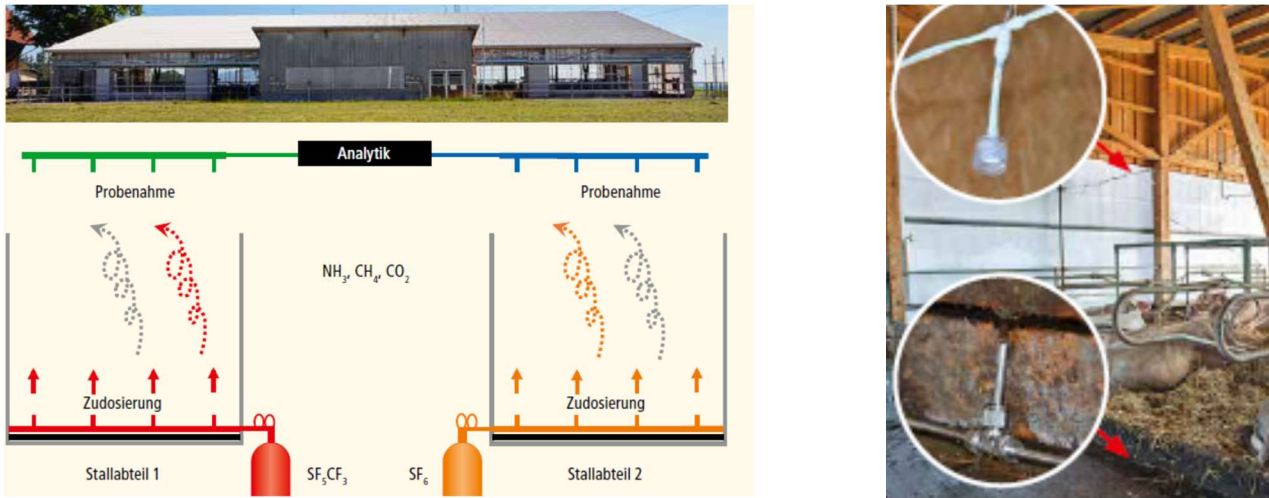


Abbildung 2: Links: Emissionsversuchsstall von Agroscope am Standort Tänikon (TG) mit den beiden Abteilen für die Untersuchung der Emissionen von z.B. von einem emissionsmindernden Boden im Vergleich zu einem herkömmlichen Boden. Rechts: Vergrößerung unten: Leitung mit Düse zur Zudosierung des Tracergases an der hinteren Kante der Liegeboxen; Vergrößerung oben: Sammelleitung mit Ventil zur Beprobung der Stallluft. Die roten Pfeile geben die Positionen der Leitungen an (Quelle: Schrade et al., 2018).

### 3.3.2 Praxisställe

Das Messprinzip in Praxisställen ist gleich wie in Emissionsversuchsställen. Oft wird aus Kostengründen jedoch kein künstliches Tracergas eingesetzt. Sondern das von den Tieren ausgestossene CO<sub>2</sub> wird parallel zu NH<sub>3</sub> gemessen und als Tracer verwendet (Abbildung 3). Die Bestimmung der von den Tieren ausgestossenen CO<sub>2</sub> Menge basiert auf einem Modell.

Diese Messmethode hat die folgenden Vor- (+) und Nachteile (-):

- + Messung im Praxismasstab.
- + Grundsätzlich beliebig lange Messdauer möglich, wenn kein künstliches Tracergas verwendet wird.
- Deutlich höhere Unsicherheit als bei einem Emissionsversuchsstall (die Bestimmung der von den Tieren ausgestossenen CO<sub>2</sub> Menge weist eine gewisse Unsicherheit auf).
- In der Regel ist bei Rindvieh ein direkter Vergleich zwischen einem Stall ohne und mit emissionsmindernder Technik nicht möglich (Fall-Kontroll-Ansatz; vgl. Kap. 4), da zwei baugleiche Ställe am gleichen Standort in der Praxis kaum vorkommen.
- Einflussfaktoren wie Fütterung oder Betrieb des Stalls können stark variieren und dadurch den Nachweis der Wirkung einer emissionsmindernden Technik stark erschweren.
- Zutritt zu Ställen durch Personal des Messinstituts nötig (Hygiene).
- Mittlere bis hohe Kosten.

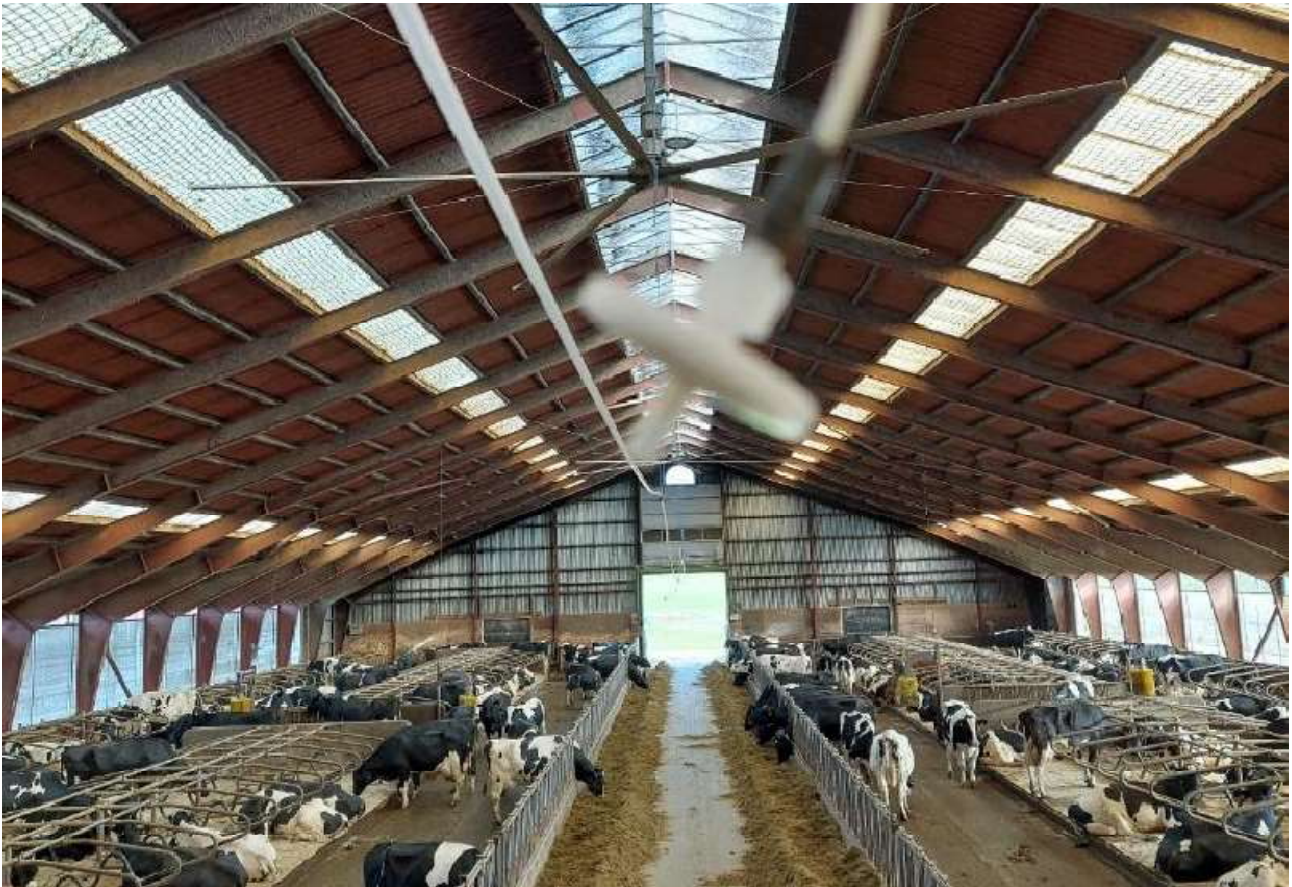


Abbildung 3: Messleitung mit Ansaugdüse im First eines Praxisstalls in Dänemark zur Beprobung der Stallluft und Bestimmung der  $\text{NH}_3$  und  $\text{CO}_2$  Konzentration in der Stallluft (Quelle: M. Bühler, Aarhus University).

### 3.4 Zwangsgelüftete Ställe

Bei Ställen mit Zwangslüftung wird die Zuluft bei den Zuluftöffnungen und die Abluft bei den Abluftventilatoren beprobt. Die  $\text{NH}_3$ -Konzentration der Stallluft lässt sich mittels der Differenz zwischen der Konzentration der Abluft und der Zuluft berechnen. Der Luftaustausch wird mittels Messung des Luftvolumens mit Messventilatoren bei den Abluftventilatoren bestimmt. Wenn dies nicht möglich ist, wird der Luftaustausch mittels  $\text{CO}_2$  als Tracer bestimmt. Ein Emissionsversuchsstall kann auch als geschlossener Stall gebaut und mittels Zwangslüftung betrieben werden (Beispiel Emissionsversuchsstall für Milchkühe: Dairy Campus der Universität Wageningen<sup>2</sup>). Praxisställe mit Zwangslüftung gibt es fast nur für Schweine und Geflügel.

Diese Messmethode hat die folgenden Vor- (+) und Nachteile (-):

- + Hohe Genauigkeit<sup>3</sup>.
- + Messung im Praxismasstab.
- + Grundsätzlich beliebig lange Messdauer möglich.
- + Ein direkter Vergleich der Emissionen eines Stalls ohne und mit emissionsmindernder Technik ist möglich (Fall-Kontroll-Ansatz; vgl. Kap. 4); für Praxisställe auch bei Schweinen und Geflügel, wenn zwei baugleiche Ställe am gleichen Standort vorliegen.
- Zutritt zu Ställen durch Personal des Messinstituts nötig (Hygiene).
- Mittlere bis hohe Kosten.

<sup>2</sup> <https://www.dairycampus.nl/en/home.htm> (01.07.2024)

<sup>3</sup> Hohe Genauigkeit bei Messung Luftaustausch bei sämtlichen Abluftventilatoren; bei Bestimmung Luftaustausch mittels  $\text{CO}_2$  als Tracer: höhere Unsicherheit.

#### 4. Wahl des Verfahrens zur Ermittlung einer Emissionsreduktion

Oft begegnet man Berichten, welche nur die Konzentration von  $\text{NH}_3$  angeben, weil die Luftaustauschrate aus Kostengründen oder fehlendem Knowhow nicht gemessen wurde. Dies ist aufgrund der Ausführungen in Kapitel 2 ungenügend, da die Konzentration von  $\text{NH}_3$  in einem Stall stark durch den Luftaustausch beeinflusst wird. Ein hoher Luftaustausch in einem Stall, z.B. ausgelöst durch starken Wind in der Umgebung, verdünnt das im Stall vorhandene  $\text{NH}_3$  und damit die Konzentration von  $\text{NH}_3$ , die mittels der Konzentrationsmessung bestimmt wird. Das Messresultat hat damit keinerlei Aussagekraft und darf nicht für Angaben im Zusammenhang mit einer Emission verwendet werden.

In der Realität werden die Emissionen in einem Stall durch das ständige Absetzen von Kot und Harn auf die Laufflächen und den Tritt der Tiere beeinflusst. Weiter spielen der Luftaustausch und die Temperatur an der emittierenden Oberfläche, wie sie auf einem Praxisbetrieb vorkommen, eine Rolle. Durch das Aufsetzen einer Messkammer auf einer Lauffläche werden all diese Einflussfaktoren stark verändert. Das aus solchen Messungen resultierende Messergebnis weicht in der Regel stark vom Messresultat ab, das unter Praxisbedingungen (z.B. Messung in einem praxisnahen Emissionsversuchsstall) resultieren würde. Das künstliche Aufbringen von Harn und/oder Kot auf ein Muster eines Bodens in einem Labor oder in einer Klimakammer entspricht ebenfalls einem Vorgehen, das die Bedingungen in einem Stall nicht repräsentativ abbildet. Zwar können die Gasflüsse der beprobten Flächen mit Messungen im Labor-/Pilotmassstab oder mit Kammermessungen im Stall ziemlich exakt bestimmt werden. Die gemessenen Gasflüsse weichen jedoch sehr stark von der Realität in einem Stall ab, und die Resultate solcher Messungen haben daher nur orientierenden Charakter; d.h. sie geben einen ersten Hinweis, ob die untersuchte Technik ein Potential zur Emissionsreduktion hat oder nicht. Ob in der Praxis eine Emissionsreduktion tatsächlich eintritt und wie hoch diese ist, muss mit anderen Methoden untersucht werden.

Die Methode zur Festlegung einer Emissionsreduktion ist der Fall-Kontroll-Ansatz wie beschrieben im VERA-Prüfprotokoll (VERA Sekretariat, 2018) oder in der Richtlinie der Niederlande (Winkel et al., 2024). Der Fall-Kontroll-Ansatz gemäss Abbildung 4 bezeichnet mit 'Fall' die zu untersuchende emissionsmindernde Technik und mit 'Kontrolle' die aktuelle Praxis ohne emissionsmindernde Technik. Der direkte Vergleich der beiden Verfahren, den die Option 'Alternierende Prüfabteile' und 'Fixe Fall-Kontrolle' gewährleisten (Abbildung 4), ist Voraussetzung für einen belastbaren Vergleich der beiden Verfahren. Denn die Emissionen aus einem Stall werden von einer Vielzahl von Faktoren beeinflusst, die sich über die Zeit stark verändern können. Die wichtigsten Einflussfaktoren sind die Menge von löslichem Stickstoff (auch TAN genannt) in den Ausscheidungen der Tiere, die Stalltemperatur, der Luftaustausch über den emittierenden Oberflächen, Managementmassnahmen wie Reinigung der Laufflächen, Weide, Nutzung des Laufhofs etc. Die Menge von löslichem Stickstoff in den Ausscheidungen der Tiere ihrerseits hängt vor allem von der Fütterung, der Genetik und der Leistung ab.

In einem Emissionsversuchsstall lassen sich für Fall und Kontrolle zwei identische Herden zusammenstellen, die praktisch gleich viel löslichen Stickstoff ausscheiden. Indem die Messungen der Verfahren Fall und Kontrolle zeitgleich durchgeführt werden, ist sichergestellt, dass Stalltemperatur, Luftaustausch und Management in beiden Verfahren identisch sind. Untersuchungen nach Fall-Kontroll-Ansatz in einem Emissionsversuchsstall sind besonders wichtig für Rindvieh, bei welchen frei gelüftete Ställe vorherrschen, in denen eine exakte Messung der Luftaustauschrate äusserst schwierig ist. Weiter unterscheiden sich bei Rindvieh die Produktionssysteme in der Praxis stark. Für den Vergleich verschiedener Systeme ist es daher nahezu unmöglich, zwei Betriebe zu finden, welche vergleichbare Rahmenbedingungen gewährleisten.

Studien nach Fall-Kontroll-Ansatz in Praxisstätten sind möglich bei Geflügel oder Schweinen, bei welchen am gleichen Standort zumindest nahezu baugleiche Ställe vorkommen können, und wo die Produktionsbedingungen weitgehend bzw. viel stärker standardisiert sind als bei Rindvieh (vgl. Beispiel für Studie nach Fall-Kontroll-Ansatz für Mastpoulets in Anhang 1).

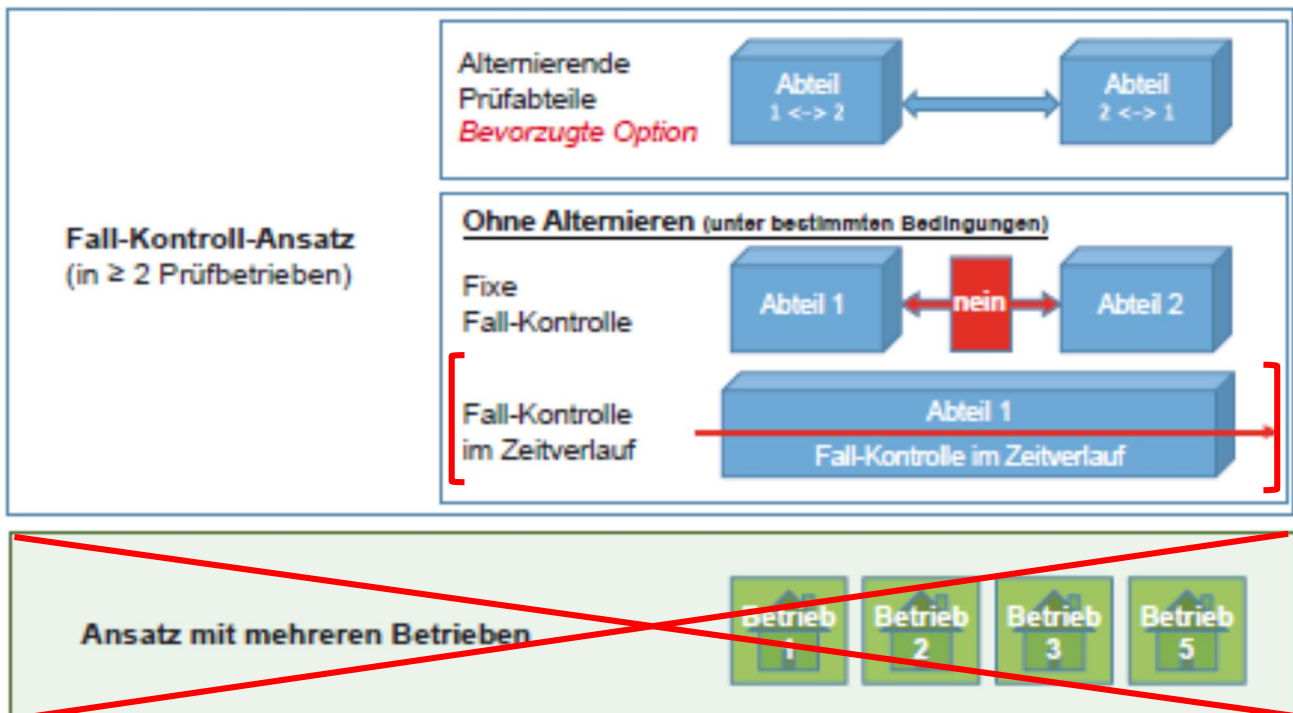


Abbildung 4: Methoden zur Bestimmung einer Emissionsreduktion durch emissionsmindernde Techniken gemäss VERA-Prüfprotokoll (Quelle: VERA Sekretariat, 2018; Abbildung geändert). Die ersten beiden Optionen 'Alternierende Prüfabteile' und 'Fixe Fall-Kontrolle' sind die beiden bevorzugten Optionen. Bei 'Alternierende Prüfabteile' werden Fall und Kontrolle abwechselnd in Abteil 1 und 2 installiert und gemessen. Bei 'Fixe Fall-Kontrolle' sind Fall und Kontrolle fix in Abteil 1 bzw. 2 installiert. Messresultate der Option 'Fall-Kontrolle im Zeitverlauf' sind deutlich unsicherer (in Klammern gesetzt) und beim 'Ansatz mit mehreren Betrieben' ist die Unsicherheit in der Regel zu gross für eine verlässliche Bestimmung einer Emissionsreduktion (daher durchgestrichen).

Beim Ansatz 'Fall-Kontrolle im Zeitverlauf' werden die Emissionen des Ausgangszustands ohne emissionsmindernde Technik in einer ersten Messkampagne gemessen (Messkampagne Kontrolle). Dann erfolgt der Einbau der emissionsmindernden Technik und die Emissionen werden wiederum gemessen (Messkampagne Fall). Das Problem bei diesem Ansatz besteht darin, dass zum Zeitpunkt der Messkampagne Fall nicht unbedingt sichergestellt ist, dass die Herde gleich viel löslichen Stickstoff ausscheidet wie zum Zeitpunkt der Messkampagne Kontrolle. Weiter sind die meteorologischen Bedingungen und damit die Stalltemperatur und der Luftaustausch über den emittierenden Oberflächen nicht identisch. Die Unsicherheiten bei diesem Ansatz sind damit deutlich grösser als bei den Optionen 'Alternierende Prüfabteile' und 'Fixe Fall-Kontrolle' (Abbildung 4).

Beim Ansatz mit mehreren Betrieben werden die Emissionen auf vier Praxisbetrieben mit emissionsmindernder Technik gemessen. Der Mittelwert der Messungen wird anschliessend mit einem Standardwert eines Systems ohne emissionsmindernde Technik verglichen. Die Unsicherheit dieser Methode ist sehr gross, da sich die Emissionen zwischen verschiedenen Praxisbetrieben stark unterscheiden können. Abbildung 5 zeigt, dass die Emissionshöhe um 100% oder mehr schwanken kann. Diese Differenzen setzen sich zusammen aus Messunsicherheiten und real existierenden Unterschieden zwischen den Betrieben (z.B.

unterschiedliche Ausscheidung von löslichem Stickstoff wegen unterschiedlicher Rassen, Fütterung oder Milchleistung, oder unterschiedlichem Management).

Ein emissionsmindernder Boden für Rindviehställe bringt in der Regel eine Reduktion zwischen 10% und 40%. Je nach Betrieben, die für die Messungen ausgewählt werden, kann damit der Effekt des untersuchten emissionsmindernden Bodens stark über- oder unterschätzt werden.

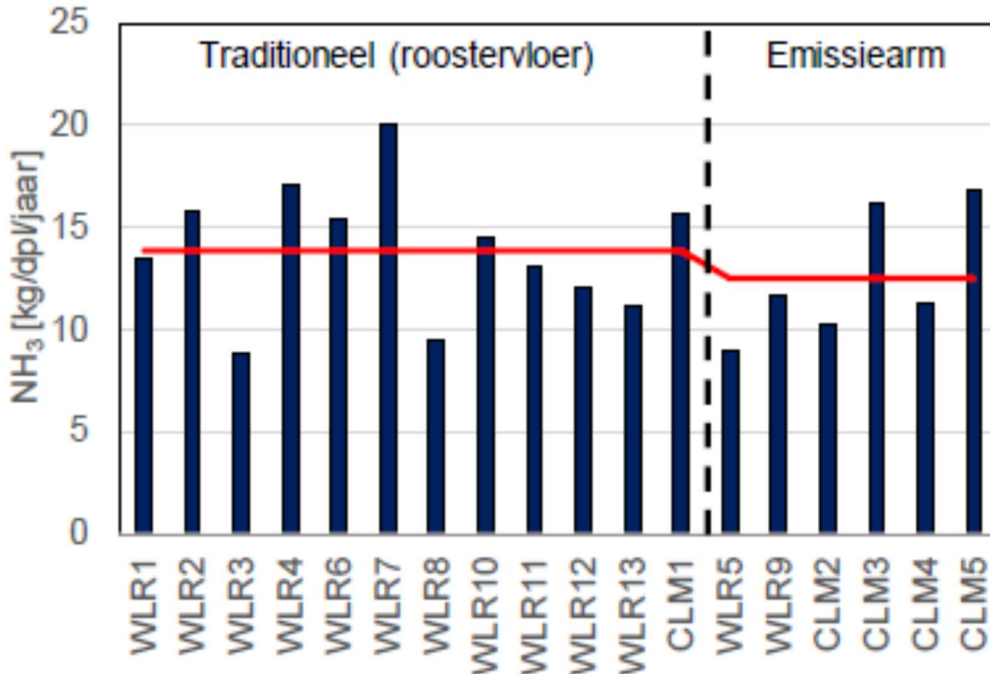


Abbildung 5: Ammoniakemissionen aus Milchkuhställen in kg pro Tierplatz und Jahr basierend auf Messungen in Praxisbetrieben in den Niederlanden. Links Betriebe ohne emissionsmindernde Technik, rechts Betriebe mit emissionsmindernder Technik. Die Mittelwerte der beiden Betriebsgruppen sind mit den roten Linien angegeben (Quelle: Mosquera et al., 2021).

Die Erfahrungen zeigen, dass sich Resultate aus Labor-/Pilotstudien oder Kammermessungen in vielen Fällen deutlich von denjenigen von Fall-Kontroll-Studien basierend auf einem Emissionsversuchsstall unterscheiden. Eine Bewertung von Techniken hinsichtlich der Ammoniakemissionen allein auf der Grundlage von Labor-/Pilotstudien oder Kammermessungen beinhaltet ein grosses Risiko, dass sich eine basierend auf solchen Methoden als wirksam eingeschätzte Technik im Nachhinein als nicht emissionsmindernd herausstellen könnte.

Weitere Informationen zu Messmethoden in Ställen sind in Hassouna et al. (2023) vorhanden. Ein Artikel mit einer allgemein verständlichen Beschreibung von Messmethoden und Verfahren zur Überprüfung der Wirksamkeit von emissionsmindernden Techniken in Ställen ist auf der Webseite der Drehscheibe Ammoniak verfügbar<sup>4</sup>.

<sup>4</sup> [https://www.ammoniak.ch/files/user\\_upload/Zeitungsartikel/Messungen\\_sind\\_aufwendig\\_aber\\_noetig\\_221123.pdf](https://www.ammoniak.ch/files/user_upload/Zeitungsartikel/Messungen_sind_aufwendig_aber_noetig_221123.pdf) (01.07.2024)



## 5. Bewertung von emissionsmindernden Techniken für Nutztierställe

Basierend auf den obigen Ausführungen gewichtet die Drehscheibe Ammoniak die Verfahren 1 bis 7 zum Nachweis einer Emissionsreduktion gemäss Tabelle 1. Die daraus folgende Zuordnung zu Grün, Orange oder Rot wird unten begründet.

**Grün:** Von der Nationalen Drehscheibe Ammoniak generell zur breiten Umsetzung ohne Einzelfallprüfung in der Schweiz empfohlene Massnahmen.

- Ein Nachweis einer Emissionsreduktion basierend auf den Verfahren 1 oder 2 liegt vor.
- Die Umsetzbarkeit ist gegeben und Anforderungen an das Tierwohl sind erfüllt.

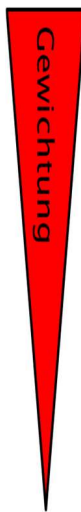
**Orange:** Von der Nationalen Drehscheibe Ammoniak nach vorgängiger fallspezifischer Prüfung zur Umsetzung in der Schweiz empfohlene Massnahmen; in der Regel ist eine fachliche Begleitung durch eine anerkannte Forschungsinstitution, Fachbehörden oder einen Baucoach nötig.

- Hinweise auf eine Emissionsreduktion basierend auf den Verfahren 3 bis 7 liegen vor. Die Grundlagen zum Nachweis einer Emissionsreduktion sind unsicher oder eine Quantifizierung der Emissionsreduktion fehlt.
- Ein Nachweis einer Emissionsreduktion basierend auf den Verfahren 1 oder 2 liegt vor, aber es bestehen offene Fragen hinsichtlich Umsetzbarkeit oder Anforderungen an das Tierwohl.

**Rot:** Von der Nationalen Drehscheibe Ammoniak zurzeit in der Schweiz nicht zur Umsetzung empfohlene Massnahmen.

- Ein Nachweis einer Emissionsreduktion bzw. Hinweise auf eine Emissionsreduktion basierend auf den Verfahren 1 bis 7 liegen nicht vor.
- Eine oder mehrere Untersuchungen basierend auf den Verfahren 1 oder 2 haben gezeigt, dass eine Emissionsreduktion nicht erreicht wird.
- Die Umsetzbarkeit in die Praxis ist nicht gegeben, die Anforderungen an das Tierwohl sind nicht erfüllt oder wichtige andere Gründe wie z.B. ein übermässig hoher Energiebedarf sprechen gegen die Umsetzung der Massnahme.

Tabelle 1: Gewichtung der Verfahren 1 bis 7 zum Nachweis der Wirksamkeit einer Technik hinsichtlich Emissionsreduktion von Ammoniak zur Verwendung in Nutztierställen als Grundlage zur Zuordnung von Grün, Orange oder Rot durch die Nationale Drehscheibe Ammoniak.

1. Messdaten erhoben unter Praxisbedingungen mittels Fall-Kontroll-Ansatz (Emissionsversuchsstall).	
2. Messdaten erhoben unter Praxisbedingungen mittels Fall-Kontroll-Ansatz (Stall Praxisbetrieb für Schweine oder Geflügel).	
3. Messdaten erhoben unter Praxisbedingungen mittels Fall-Kontroll-Ansatz Stall Praxisbetrieb im Zeitverlauf.	
4. Messdaten erhoben unter Praxisbedingungen mittels Ansatz mit mehreren Betrieben.	
5. VERA Prüferklärung, definitive Listung auf Rav Liste NL <sup>5</sup> oder Umwelttechnologieliste DK vorhanden (eine Listung erfolgt nur, wenn Messdaten gemäss Verfahren 1, 2, 3 oder 4 vorliegen; dasselbe gilt für eine VERA Prüferklärung).	
6. Messdaten erhoben im Labor- oder Pilotmassstab oder mittels Kammermessungen in einem Praxisstall.	
7. Experteneinschätzung hinsichtlich Emissionsminderung basierend auf grundlegenden Mechanismen.	

<sup>5</sup> Die Rav Liste ist seit dem 01.01.2024 nicht mehr gültig. Sie wurde abgelöst durch die Umweltverordnung, Anhang 5 ('Omgevingsregeling', 'Bijlage V'; <https://wetten.overheid.nl/BWBR0045528/2024-07-01#BijlageV>; 05.08.2024).

Neben dem Nachweis einer Emissionsreduktion basierend auf den Verfahren 1 oder 2 gemäss Tabelle 1 werden weitere Grundlagen zur Bewertung bezüglich Emissionsreduktion beigezogen. Die Gewichtung ist aus Tabelle 1 ersichtlich. Dazu gehören Messdaten erhoben mittels Verfahren 3, 4 oder 6, sowie Listen mit emissionsmindernden Techniken der Niederlande, Rav Liste, oder Dänemark, Umwelttechnologieliste. Das Vorliegen einer VERA Prüferklärung sowie die Aufnahme einer Technik in eine der Listen setzt in jedem Fall Messdaten basierend auf den Verfahren 1 bis 4 (Tabelle 1) voraus. Allerdings sind die Messberichte nicht immer öffentlich verfügbar, wurden jedoch durch eine unabhängige Stelle geprüft. Obwohl die Rav Liste aus juristischen Gründen seit dem 01.01.2024 nicht mehr gültig ist, verwenden wir sie weiter als Grundlage mit der folgenden Begründung: i) Systeme, die in der Rav Liste aufgeführt sind, wurden wie oben erwähnt mit Messungen geprüft (meist Verfahren 4, Ansatz mit mehreren Betrieben). ii) Die Rav Liste wurde durch die Umweltverordnung, Beilage 5 ('Omgevingsregeling', 'Bijlage V') abgelöst, welche die gleichen Stallsysteme enthält, wobei diese unter anderen Systemcodes gelistet werden. Inhaltlich sind die beiden Systeme bzw. Regelungen Rav Liste und Umweltverordnung, Beilage 5, weitgehend identisch. Im Sinne der Konsistenz verwenden wir im Rahmen der Drehscheibe Ammoniak weiterhin die Rav Liste zur Bewertung von emissionsarmen Systemen. Im Sinne der Transparenz wird in den Faktenblättern explizit darauf hingewiesen, dass die Rav Liste seit dem 01.01.2024 nicht mehr gültig ist. Weitere Informationen und Links zur Umweltverordnung sind im Anhang 2 aufgeführt.

Die Drehscheibe Ammoniak weicht teilweise vom Vorgehen wie oben beschrieben ab. Dies geschieht in Fällen, in welchen eine Studie gemäss Fall-Kontroll-Ansatz nicht oder nur mit unverhältnismässig grossem Aufwand durchführbar wäre, und in denen ausreichend Indizien vorliegen, dass eine Emissionsreduktion erreicht wird. In solchen Fällen wird auch überprüft, ob hinsichtlich Emissionsreduktion international Konsens besteht.

Ein Beispiel ist der Anbindestall für Rindvieh, dem von der Drehscheibe Ammoniak die Farbe 'grün' zugeordnet wurde. Hierfür liegen keine Studien gemäss Fall-Kontroll-Ansatz und allgemein wenig belastbare Untersuchungen vor (Schrade et al., 2011). Aufgrund von grundlegenden Mechanismen (deutlich weniger emittierende Fläche in Anbindestall im Vergleich zu einem Laufstall) lässt sich eine Emissionsreduktion im Vergleich zu einem Laufstall rechtfertigen. Dies steht auch im Einklang mit der Einschätzung auf internationaler Ebene (Arbeitsgruppe Reaktiver Stickstoff der Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen UNECE; Bittman et al., 2014). Ein anderes Beispiel ist die Weide. Auch hier liegt keine Studie gemäss Fall-Kontroll-Ansatz vor. Andererseits haben Messungen gezeigt, dass Ausscheidungen, die auf die Weide abgesetzt werden, deutlich niedrigere Emissionen verursachen als bei Ausscheidung in einen Stall (Voglmeier et al., 2018). Bezüglich Emissionsreduktion von Ammoniak aufgrund von Weide besteht auch auf internationaler Ebene Konsens (Arbeitsgruppe Reaktiver Stickstoff der Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen UNECE; Bittman et al., 2014). Auch die Rav Liste<sup>5</sup> gibt für Systeme mit Weide tiefere Emissionen an als ohne Weide.

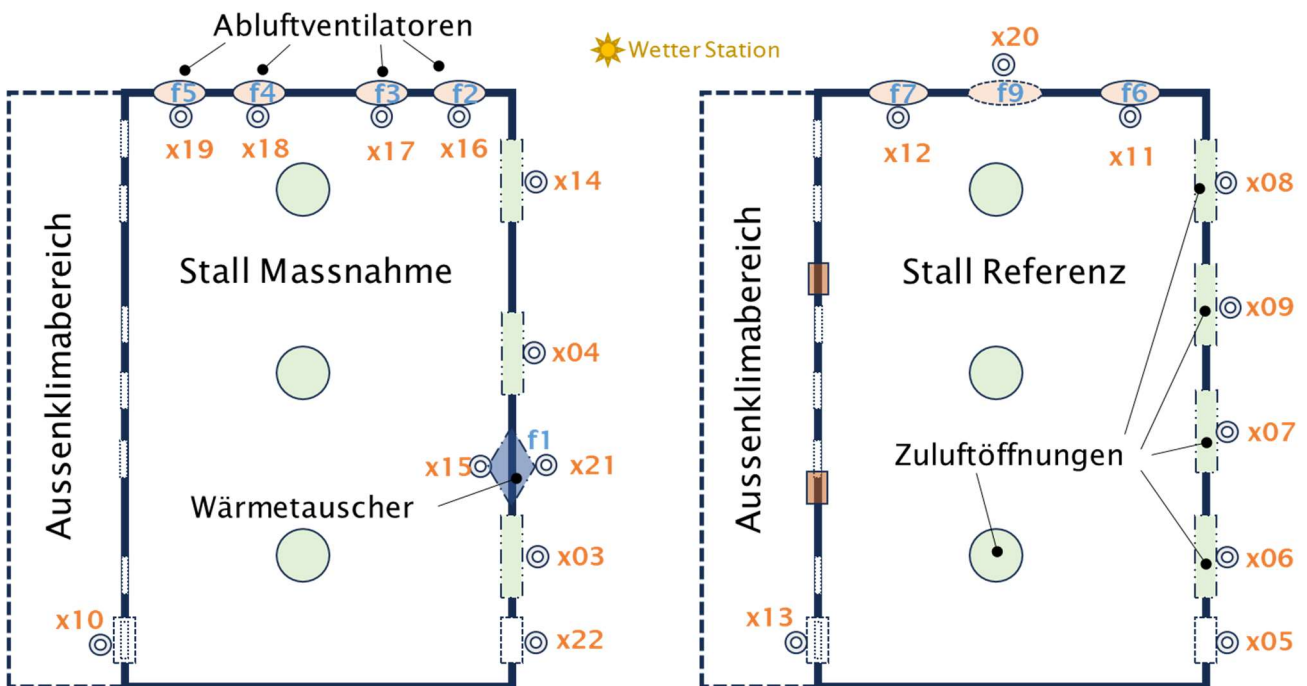
## 6. Referenzen

- Bittman, S., Dedina, M., Howard, C.M., Oenema, O., Sutton, M.A. 2014. Options for ammonia mitigation: Guidance from the UNECE Task Force on Reactive Nitrogen. Centre for Ecology and Hydrology, Edinburgh, UK.
- Chiumenti, A., da Borso, F., Pezzuolo, A., Sartori, L., Chiumenti, R. 2018. Ammonia and greenhouse gas emissions from slatted dairy barn floors cleaned by robotic scrapers. *Res. Agr. Eng.* 64,(1): 26-33.
- Hassouna, M., Amon, T., Arcidiacono, C., Bühler, M., Calvet, S., Demeyer, P., D'Urso, P.R., Estellés, F., Häni, C., Hempel, S., Janke, D., Kjosevski, M., Kupper, T., Mohn, J., Mosquera, J., Norton, T., Scheutz, C., Thygesen Vechi, N., Van Overbeke, P., Schrade, S., 2023. Measuring techniques for ammonia and greenhouse gas emissions from naturally ventilated housings, in: Bartzanas, T. (Ed.), *Technology for Environmentally Friendly Livestock Production*. Springer International Publishing, Cham, pp. 23-63.
- Mohn, J., Zeyer, K., Keck, M., Keller, M., Zähler, M., Poteko, J., Emmenegger, L., Schrade, S., 2018. A dual tracer ratio method for comparative emission measurements in an experimental dairy housing. *Atmos. Environ.* 179, 12-22.
- Mosquera, J., van Dooren, H.J.C., Ogink, N.W.M., van Well, E.A.P., Monteny, G.J. 2021. Monitoring van methaan-, ammoniak-, en lachgasemissies uit melkveestallen. Rapport No. 1286. Wageningen: Wageningen Livestock Research.
- Ogink, N.W.M., Mosquera, J., Calvet, S., Zhang, G. 2013. Methods for measuring gas emissions from naturally ventilated livestock buildings: Developments over the last decade and perspectives for improvement. *Biosyst. Eng.* 116(3): 297-308.
- Ogink, N.W.M., Mosquera, J., Hol, A. 2017. Protocol voor meting van ammoniakemissie uit huisvestingssystemen in de veehouderij 2013a. Rapport 1023. Wageningen, NL: Livestock Research Wageningen UR.
- Schrade, S., Keck, M., Zeyer, K., Emmenegger, L. 2011. Ammoniak-Emissionen von Milchviehlaufställen mit Auslauf. Im Winter weniger Verluste. ART Berichte Nr. 745.
- Schrade, S., Zeyer, K., Keck, M., Keller, M., Zähler, M., Mohn, J. 2018. Validierung der Tracer-Ratio-Methode für Emissionsmessungen bei freier Lüftung. *Agrarforschung Schweiz* 9(10): 340-347.
- van Bruggen, C., Geertjes, K. 2019. Stikstofverlies uit opgeslagen mest. Stikstofverlies berekend uit het verschil in verhouding tussen stikstof en fosfaat bij excretie en bij mestafvoer. CBS.
- VERA Sekretariat. 2018. VERA-Prüfprotokoll für Tierhaltungs- und Management-Systeme Version 3:2018-07. 2920 Charlottenlund, DK: Internationales VERA Sekretariat.
- Voglmeier, K., Jocher, M., Häni, C., Ammann, C. 2018. Ammonia emission measurements of an intensively grazed pasture. *Biogeosciences* 15(14): 4593-4608.
- Winkel, A., Brusselman, E., Hensen, A., Otten, G., Vonk, J., Laanen, L., Verfaillie, A., van Dinther, D., Mosquera, J., Ogink, N. 2024. Richtlijnen voor het bepalen van emissies uit veestallen. Rapport 1470. Wageningen: Wageningen Livestock Research.

Anhang 1



Abbildung 6: Beispiel von zwei praktisch baugleichen Mastpouletsställen: Gebäude links und Mitte mit den Futtersilos, die im Rahmen eines Fall-Kontroll-Ansatzes durch die HAFL untersucht wurden.



⊙ **xXX**: Sensoren für die Messung der NH<sub>3</sub>/CO<sub>2</sub> Konzentration      **fX** Messventilator

Abbildung 7: Übersicht der Messeinrichtungen für die Messung der Konzentrationen von NH<sub>3</sub> und CO<sub>2</sub> mittels elektrochemischer Sensoren sowie der Luftaustauschrate mittels Messventilatoren. In diesem Versuch wurde der Effekt eines Wärmetauschers auf die Emissionen aus Ställen von Mastpoulets gemessen ('Stall Massnahme'=Fall; 'Stall Referenz'= Kontrolle).



Abbildung 8: Messeinrichtungen bei zwei Abluftöffnungen: Messventilatoren zur Messung der Luftaustauschrate und je ein Sensor für die Messung der Konzentrationen von  $\text{NH}_3$  und  $\text{CO}_2$ . Jede der 3 bzw. 4 Abluftöffnungen der Ställe (Abbildung 7) war ausgerüstet wie hier abgebildet. Zusätzlich wurden die  $\text{NH}_3$  und  $\text{CO}_2$  Konzentrationen bei jeder Zuluftöffnung gemessen.

Die Studie umfasste 4 Messkampagnen über alle Jahreszeiten Winter, Übergangszeit und Sommer, welche je einen ganzen Mastumtrieb abdeckten.

## Anhang 2

### Links zur Umweltverordnung, NL (Webseite auf Niederländisch)

Umweltverordnung, Beilage 5 ('Omgevingsregeling', 'Bijlage V')

<https://wetten.overheid.nl/BWBR0045528/2024-07-01#BijlageV>

Umwandlung der BWL Nummern der Rav Liste in OW Nummern der Umweltverordnung, Beilage 5 ('Omgevingsregeling', 'Bijlage V'):

<https://iplo.nl/regelgeving/regels-voor-activiteiten/dierenverblijven/systeembeschrijvingen-stallen/conversietabel-ow-nummer-bwl-bb/>

Systembeschreibungen der Umweltverordnung, Beilage 5 ('Omgevingsregeling', 'Bijlage V'):

<https://iplo.nl/regelgeving/regels-voor-activiteiten/dierenverblijven/systeembeschrijvingen-stallen/>

Alle Links datieren vom 05.08.2024