



Vorgehensweise zur Ermittlung repräsentativer Emissionsfaktoren – Messprotokoll für offene Stallsysteme – Beispiel Milchviehstall

Emissionsfaktoren für Tierhaltungsverfahren sind eine wesentliche Grundlage zur Berechnung von Emissionen sowohl im Rahmen der nationalen Emissionsberichterstattung als auch für die Beurteilung der Umweltwirkung von Stallbauvorhaben in Genehmigungsverfahren. Die Ableitung vergleichbarer und repräsentativer Emissionsfaktoren aus Messungen ist nur dann möglich, wenn diese in Art und Häufigkeit Mindestkriterien erfüllen, die nach einem einheitlichen Muster durchgeführt wurden und darüber hinaus die Begleitparameter ausreichend dokumentiert sind.

Eine solche Dokumentation wird u. a. im Rahmen der Berichtspflichten ab 2009 nach UNECE auch für die Angabe von Minderungsmaßnahmen gefordert.

Das Messprotokoll beinhaltet die Vorgehensweise für die Erhebung und Messung von Emissionsdaten in offenen Stallsystemen am Beispiel eines Milchviehstalles. Neben den Messverfahren werden u. a. die Anzahl der Wiederholungen und die Messdauer vorgegeben. Darüber hinaus sind weitere Parameter, die für die Interpretation der Daten von Bedeutung sind, zu erheben.

Die KTBL-Arbeitsgruppe „Emissionsfaktoren Tierhaltung“ hat dieses Messprotokoll für freigelüftete Ställe, hier am Beispiel der Milchviehhaltung, erstellt.

Beispiel Milchviehhaltung, Liegeboxenlaufstall

Beschreibung des Messobjektes

Zur Interpretation der Messergebnisse und für deren Übertragung in die Praxis ist es erforderlich, das Messobjekt hinsichtlich der Parameter zu beschreiben, die einen Einfluss auf die zu messenden Emissionen haben. Nachfolgende Parameter sollten dabei berücksichtigt werden; Einschränkungen oder Erweiterungen können im Einzelfall sinnvoll sein.

Tierkategorie:	Rind, Anzahl und Anteil verschiedener Tierkategorien, Lebendgewicht
Produktionsrichtung:	Milch
Kennzahlen zur Tierleistung:	Milch (Leistung, Inhaltsstoffe, Milchwahstoffwert), Laktationsstadium, Reproduktionsleistung, Erstkalbealter, Zwischenkalbezeit
Kurzbeschreibung Haltung:	Liegeboxenlaufstall
Bauausführung:	Fassaden, Dach, ggf. Wärmedämmung, Raumgestaltung, Stallgröße, Bodengestaltung (Bodenart(en) Funktionsbereiche, Flächenanteil zuordnen, Neigung der Flächen)
Tierplatzzahl bzw. Abmessungen:	Gruppengröße, Flächen pro Tier (Lauf- und Liegeflächen), Luftvolumen pro Tier, mit und ohne Auslauf, Aufenthaltsdauer im Laufhof (ständig zugänglich? Welche Fütterung?), Liegeplatzgestaltung (Art der Liegefläche, Einstreu), Laufflächengestaltung (Bodenbelag, Gefälle)
Fütterung:	Beschreibung der Technik und des Managements (Fütterungszeiten, Nachschiebezeiten), Ration (Masse, Inhaltsstoffe, TS-Gehalt, Aschegehalte, Rohprotein-Gehalt, Trogrest), Weideregime



- Lüftung/Klimatisierung:** Ausrichtung Stall, Hauptwindrichtung, Standortbeschreibung extra durchführen (wo ist der Stall, wie ist die Umgebung gestaltet, Lageplan, VDI-Geländebeschreibung nachsehen, Öffnungen, Temperaturniveau im Stall, allgemeine Angaben zum Standortklima (Jahresdurchschnittstemperatur, Sommer-/Wintertemperatur, Tages- und Jahresgänge), Außen- und Stallklima (Lufttemperatur, Luftgeschwindigkeit, relative Luftfeuchtigkeit, Windrichtung, Niederschlag, Strahlung)
- Entmistung:** Art, Häufigkeit der Entmistung (Lagerdauer im Stall, Dauer der Lagerung unterm Stall, Anzahl der Homogenisierung), Gülle, Lauffläche und Güllelager im Stall (Masse, N-Gehalt, TS-Gehalt, pH-Wert), Laufflächenverschmutzung, Entmistung Laufhof beschreiben, Festmist- und Jaucheanfall
- Lager Wirtschaftsdünger:** Beschreibung (auch externe Lagerung), Größe, Oberfläche, (Volumen, Abdeckung, Behandlung, Lagerdauer, überwiegende Ausbringzeiträume, Füllstand des Lagers im Sommer bzw. Winter Aufführen
- Besonderheiten:**
- Management:** Melkzeiten, Fütterungszeiten, Einstreumenge, Einstreuart, Einstreuhäufigkeit, Entmistungszeiten, ggf. Güllerühren (vermeiden während Messungen), Flüssigmistbehandlung, Verwendung von Zusatzstoffen im Stall, Weidegang, Öffnen und Schließen von Curtains und Toren (Stellung angeben), weitere Aktivitäten (siehe Tab. 3a).
- Vorhandene Minderungsmaßnahmen:** Welche Maßnahmen gibt es, die eine Emissionsminderung erwarten lassen; Besonderheiten wie Schwimmschichten, Stallluftbehandlung angeben
- Skizze, Zeichnung:**





Messstrategie

1. „Vergleichsmessungen“ mit Referenz

Eine emissionsmindernde Maßnahme wird im Vergleich zu einer Referenz gemessen. Referenzmessung (case-control): mind. auf 2 Betrieben in Abhängigkeit der Spannweite (Betriebe müssen das gleiche Modell beschreiben, gleiche Ausgestaltung und Organisation haben), 1 Messung kann an einem Stall erfolgen (Referenz und Vergleich), aber an 2 Standorten

2. Messstrategie für „einfache“ Emissionsmessungen

Vergleich eines „Betriebstyps“ ohne Referenzanlage: mindestens 4 Betriebe (gilt für die Messung von Stallsystemen und Minderungsmaßnahmen)

Tab. 1: Parameter und Anforderungen bei unterschiedlichen Messstrategien

Parameter	Anforderungen	
	Messstrategie mit Referenz	Messstrategie ohne Referenz
Anzahl der Haltungseinheiten/Betriebe	Mindestens 2 verschiedene Betriebe in Abhängigkeit der Spannweite messen. Auf jedem Betrieb wird sowohl die Referenz als auch die Maßnahme gemessen.	Mindestens 4 verschiedene Betriebe
Auswahl der Betriebe; Messbedingungen	Für die Produktionsstruktur repräsentative Betriebe, zufällig wäre erwünscht Referenz: Gute fachliche Praxis, ausreichende Eingewöhnungsphasen bei Varianten/Vorher-Nachher (Ration, Bauliches, Stalleinrichtungen) Keine weiteren Emissionsquellen in der Nähe (Hintergrundbelastung) Standort / Umgebung müssen Emissionsmessungen erlauben Aufgeschlossenheit und Mitwirkung des Landwirtes sind wichtig Betrieb soll auch für zumindest kürzere Vergangenheit gute Dokumentation haben	
Messperiode	Messungen für jeden Betrieb/Haltungseinheit (Messbedingungen und Methoden siehe Tab. 2 Ammoniak (NH ₃) und weitere gasförmige Emissionen (CH ₄ , CO ₂ , N ₂ O) sowie Geruch und Staub (für die Berechnung der Jahresdurchschnittswerte) Mindestens sechs Tage (24 h parallel Minderung/Referenz) und mindestens drei Zeitfenster (Winter, Sommer und in der Übergangszeit) bei regionaltypischen Temperaturbereichen Je Zeitfenster mindestens 2 nicht aufeinander folgende Tage; max. 50 % der Messungen in der ersten Hälfte der Mastphase bei wachsenden Tieren)	
Messstellen	Messung der Minderungs- und der Referenzeinheit/Stalleinheit Messung der Hintergrundbelastung	

Für alle Tierkategorien werden sechs 2-Monatsperioden pro Jahr berücksichtigt. Je Betriebsstandort ist eine Messung je Periode durchzuführen, um eine Verteilung der Probenahmetage über das Jahr zu gewährleisten. Die Verteilung der Probenahmetage über ein Jahr hängt jedoch von dem Emissionsschema der betrachteten Tierkategorie ab:

- Stabiles Emissionsschema, z. B. Milchviehhaltung
- Linearer Anstieg der Emissionen im Verlauf des Produktionszyklus verbunden mit dem Wachstum des Tiers, z. B. Schweineproduktion
- Exponentieller Anstieg der Emissionen im Verlauf des Produktionszyklus verbunden mit dem Wachstum des Tiers, z. B. Masthähnchenproduktion

Für Tierkategorien mit stabilem Emissionsschema (z. B. Milchviehhaltung) sollten die Probenahmetage zufällig in jeder 2-Monatsperiode ausgewählt werden. Für Messungen in Milchviehbetrieben mit Weidehaltung sollten die Messungen nur in Perioden durchgeführt werden, wenn die Tiere im Stall gehalten werden.



Für Tierkategorien mit einem linearen Anstieg der Emissionen im Verlauf des Produktionszyklus (z.B. Schweine) ist eine zusätzliche Anforderung gegeben: die Hälfte der Messungen sollte in der ersten Hälfte des Produktionszyklus stattfinden, die andere Hälfte in der zweiten Hälfte des Produktionszyklus. Weiterhin sollten die Probenahmetage in der zweiten Hälfte des Produktionszyklus gleichmäßig über das Jahr verteilt werden (gleiche Anzahl von Messungen pro Saison).

Für Tierkategorien mit einem exponentiellen Verlauf der Emissionen (z.B. Masthähnchen) sollte für jeden Betriebsstandort folgende Vorgehensweise für die Verteilung der Probenahmetage befolgt werden:

- Der Produktionszyklus sollte in drei Abschnitte gleicher Länge (gleiche Anzahl an Tagen) aufgeteilt werden.
- Eine Messung sollte im ersten Abschnitt, zwei Messungen im zweiten Abschnitt und drei Messungen im dritten Abschnitt erfolgen. Zusätzlich sollten die Probenahmetage im dritten Abschnitt des Produktionszyklus gleichmäßig über das Jahr verteilt sein (gleiche Anzahl an Messungen pro Saison).

Messparameter und Messmethoden

Die Messungen können mit unterschiedlichen Messmethoden durchgeführt werden. Diese sind im Messprotokoll ausreichend genau zu dokumentieren. Hinsichtlich der Messbedingungen und -messmethoden sind Mindestanforderungen zu erfüllen (Tab. 2). Die Auswahl der zu messenden Parameter orientiert sich an den jeweiligen Fragen.

Im Vorfeld der Messungen müssen repräsentative Messorte in Abhängigkeit von Stall, Standort, Witterung und Messmethode begründet und dokumentiert werden.

Tab. 2: Messbedingungen und Messmethoden zur Messung der Stoffkonzentrationen

Parameter/Einheiten	Messbedingungen (wo, wie und wie oft)	Messmethode (Referenz zur Methode)
Geruch [OU/m ³]	Diskontinuierlich: Mindestanzahl und Verteilung der Messtage (siehe Tab. 1 und 2) Mindestens drei Proben pro Tag Messungen zur Tages- und zur Nachtzeit Messdauer: zwischen 30 und 120 Minuten Messgefäß: Nalophan; Mindestgröße 10-12 l Probenahme: repräsentative Orte im Stall oder in der Abluft, repräsentativ räumlich und zeitlich	EN 13725/AC 2006: Air quality – Determination of odour concentration by dynamic olfactometry Methoden, die den CEN Standard erfüllen VDI-Richtlinie: VDI 3880
Ammoniak [mg/m ³]	Mindestanzahl und Verteilung der Messtage (siehe Tab. 1 und 2) Messdauer: 24 Stunden Kontinuierliche Messungen basierend auf Stundenwerten (24 Proben) Probenahme: repräsentative Orte im Stall oder in der Abluft, repräsentativ räumlich und zeitlich Korrektur der Hintergrundkonzentration	NDIR, FTIR, PAS, NOx-Konverter Anreicherung: Richtlinie VDI zu Impinger

Fortsetzung nächste Seite



Parameter/Einheiten	Messbedingungen (wo, wie und wie oft)	Messmethode (Referenz zur Methode)
Staub [mg/m ³] - PM10 - PM2.5 - Gesamt	Kontinuierlich: Mindestanzahl und Verteilung der Messtage (siehe Tab. 1 und 2) Kontinuierliche Messungen basierend auf Stundenwerten (24 Proben) Messdauer: 24 Stunden für PM10/2.5 Diskontinuierlich: Mindestens drei Proben pro Tag Messungen zur Tages- und Nachtzeit Messdauer: mindestens 120 Minuten Probenahme: repräsentative Orte im Stall oder in der Abluft	VDI und EN Richtlinien Abgleich EN 13284-1:2001 EN 13284-2:2004 EN 15259:2007 Optische Messverfahren alleine nicht ausreichend; microba- lancing TEOM
CH ₄ [mg/m ³]	Mindestanzahl und Verteilung der Messtage (siehe Tab. 1 und 2) Messdauer: 24 Stunden Kontinuierliche Messungen basierend auf Stundenwerten (24 Proben). Probenahme: repräsentative Orte im Stall oder in der Abluft, repräsentativ räumlich und zeitlich Korrektur der Hintergrundkonzentration	NDIR, FTIR, GC, FID mit CH ₄ - Konverter möglichst kontinuierlich, mindes- tens stündlich über 24 Stunden (GC)
CO ₂ [mg/m ³]	Mindestanzahl und Verteilung der Messtage (siehe Tab. 1 und 2) Messdauer: 24 Stunden Kontinuierliche Messungen basierend auf Stundenwerten (24 Proben) Probenahme: repräsentative Orte im Stall oder in der Abluft, repräsentativ räumlich und zeitlich Korrektur der Hintergrundkonzentration	NDIR, FTIR, PAS, GC (Verweis auf Begleitparameter)
N ₂ O [mg/m ³]	Mindestanzahl und Verteilung der Messtage (siehe Tab. 1 und 2) Messdauer: 24 Stunden Kontinuierliche Messungen basierend auf Stun- denwerten (24 Proben). Probenahme: repräsentative Orte im Stall oder in der Abluft, repräsentativ räumlich und zeitlich Korrektur der Hintergrundkonzentration	NDIR, FTIR, GC möglichst kontinuierlich; mindes- tens stündlich über 24 Stunden (GC)
NMVOC	Mindestanzahl und Verteilung der Messtage (siehe Tab. 1 und 2) Messdauer: 24 Stunden Kontinuierliche Messungen basierend auf Stundenwerten (24 Proben) Probenahme: repräsentative Orte im Stall oder in der Abluft, repräsentativ räumlich und zeitlich Korrektur der Hintergrundkonzentration	FID mit CH ₄ -Konverter



Zusätzliche Messparameter/Begleitparameter

Neben den genannten Stoffkonzentrationen sind auch die in Tabelle 3 aufgeführten Parameter zu bestimmen. Diese sind für die Ermittlung von Emissionsmassenströmen, die Bilanzierung von N- und C-Strömen sowie zur Beurteilung der Wirkung einer Minderungsmaßnahme relevant. Hierbei ist jeweils die Fragestellung zu berücksichtigen. Parameter, die für die emissionsmindernde Wirkung eines Systems relevant sind, aber in Tabelle 3 nicht berücksichtigt wurden, sind ergänzend zu messen.

Tab. 3: Zusätzliche Messparameter/Begleitparameter

Parameter/Einheit V: Verpflichtend O: Optional	Messbedingungen (wo, wie und wie oft)	Messmethode (Referenz zur Methode)
Luftvolumenstrom (V) [m ³ /h]	Parallel zur Konzentrationsmessung	Link zur Tabelle Volumestrombestimmung, siehe Anhang
H ₂ S (O/V im Falle einer erhöhten Konzentration) [mg/m ³]	s. o.	Elektrochemischer Sensor Dräger Röhrchen H ₂ S-Konverter
Anzahl und Lebendmasse der Tiere in der Stall- einheit (V) [kg]	Datum, Anzahl und Masse der Tiere bei Einstallung und Ausstallung, während der Messtage; Angabe der Servicezeiten	Wiegen, Maßband
Fläche pro Tier (V) [m ²] Luftvolumen pro Tier (V) [m ³] (Berechnungsgröße)	Bodentyp (Material, Perforationsgrad, Bedingungen, Verschmutzung)	Dokumentation
Klimaparameter (V) Außenklima und Stallklima Luftgeschwindigkeit Temperatur Luftfeuchte Globalstrahlung Niederschlag Windrichtung Luftdruck	Für alle Messtage und Messpunkte kontinuierlich über die gesamte Messdauer Messorte: Stall und außen	Dokumentation: min. Stundenwerte, besser Minutenwerte (Wetterstation zur Bestimmung der Wetter-situation am Messobjekt)
Wirtschaftsdünger (V) ¹⁾ Menge [kg] oder [m ³] pH -Wert TM Organische TM [%] N [%] oder [g/kg] TAN [%] oder [g/kg] C : N-Verhältnis P, K	Mindestanzahl von Proben während der Messperiode Probenahme (KTBL 2006)	Labormethoden, VDLUFA
Registrierung der Zeiten (V), Güllekanal/Güllekanal geleert Füllstand Melkzeiten Fütterungszeiten Entmistungszeiten Entmistungsintervalle (auch Laufhof) Öffnen/Schließen der Curtains	Zeiten und Zeitspannen erfassen	Dokumentation
Verschmutzung der Bodenoberfläche (Bucht und Tiere) (V)	Aufnahme während der Messtage	Dokumentation + Messung/Bewertung/Rating
Besondere Vorkommnisse, die Einfluss auf das Messergebnis haben könnten (z. B. technische Störungen, Krankheiten, abnormes Tierverhalten ...)		Dokumentation

Fortsetzung und Fußnote nächste Seite



Parameter/Einheit V: Verpflichtend O: Optional	Messbedingungen (wo, wie und wie oft)	Messmethode (Referenz zur Methode)
Futtermenge und –zusammensetzung, Trogrest [kg] (V) ¹⁾ TM [%] GE [MJ /kg TM] DE [MJ /kg TM], ersatzweise Verdaulichkeit von Energie [%] ME [MJ /kg TM] NEL [MJ /kg TM] bei Milchvieh C [g/kg TM] XP [g/kg TM] XF [g/kg TM] Aschegehalt [g/kg TM]	Proben ziehen Probenahme während der Messperiode/Messtage	Labormethoden, VDLUFA Dokumentation
Verdaulichkeit der org. Substanz [%] Verdaulichkeit von XP [%] Lysin [g/kg TM] P, K [g/kg TM] Zusätze [g/kg TM] Fütterungsstrategie und- frequenz		

¹⁾ Abhängig von der Fragestellung.

Wird der Einfluss von technischen Minderungsmaßnahmen ermittelt, ist es notwendig, weitere Messparameter wie Energie-, Wasser- oder ggf. Chemikalienverbrauch zu messen und zu dokumentieren.

Tab. 3a: Weitere Parameter für die Prüfung von technischen Emissionsminderungsmaßnahmen

Parameter/Einheit V: Verpflichtend O: Optional	Messbedingungen (wo, wie und wie oft)	Messmethode (Referenz zur Methode)
Energieverbrauch (O) [kwh] bezogen auf die Zeit und Minderungstechnik	Kontinuierliche Messungen des Energieverbrauchs, insbesondere der Ventilation und potenzieller Umwelttechnologien	
Wasserverbrauch (O) [l] oder [m³] bezogen auf die Zeit und Minderungs- technik	Kontinuierliche Messungen	
Verbrauch von Chemikalien/Zusätzen (z. B. Säure) (O) [mg] oder [kg] Masse [l] oder [m³] Volumen bezogen auf die Zeit und die Minderungstechnik Jedes bezogen auf Platz und Tier [m²] oder [Tierplatz, TP] oder [Großvieheinheit, GV]	Kontinuierliche Messungen	Definition der Stoffe, Benennung der Inhaltsstof- fe, Anfall von Reinigungs- wasser
Ggf. auch Strömungs-/Rauchversuche, um Luftführung/Strömungsverlauf im Stall zu dokumentieren (O)		



Allgemeine Hinweise für die Messungen

Grundlagen zu Messmethoden und Vorgehensweise bei der Messung sind in der KTBL Schrift 401 „Messmethoden für Ammoniak-Emissionen“ beschrieben (KTBL 2001):

- Zusätzliche Messgrößen der Luftprobe
Begleitgase (Querempfindlichkeit)

- Messorte, räumliche Probenahme

Bei geführten Quellen in der Zuluft (Hintergrund) und in der Abluft (alle Abluftpunkte) messen bzw. an repräsentativen Positionen im Stall. Probenahme nach Fragestellung: im gesamten Stall oder in einem Abteil oder in allen Abteilen im Stall.

- Probenahme (Absaugung der Luftprobe)

Misch- bzw. Querschnittsprobe, kondensatgeschützte Teflonschläuche (ggf. Beheizung), Filter, Adsorption, Kondensation, Leckagen und Verstopfungen während der Probenahme sind durch entsprechende Vorkehrungen zu verhindern und die Probenahme ist entsprechend regelmäßig zu überwachen bzw. zu kontrollieren. Beprobungsdauer und -reihenfolge der Messstellendefinieren sowie ausreichende Messzeit vorsehen (Totzeiten, Spülzeiten, An- und Abstiegzeiten berücksichtigen bzw. verwerfen), der Beprobungsreihenfolge randomisieren.

Qualitätssicherung und Ergebnisdarstellung

Damit die Vorgaben der Qualitätssicherung erfüllt sind und die Ergebnisse nachvollzogen werden können, sind Angaben zu den folgenden Punkten notwendig:

- Transport und Lagerung der Proben zum Labor/Messgerät, Auswertung

Geruchsproben: Messung vor Ort/Labor, zeitlicher Abstand Probenahme-Olfaktometrie

Staubproben: Konditionierung der Filter, Differenzwägung, geeigneter Wägeraum Gülleprobenahme (KTBL 2006)

- Eignung des Messsystems

Ausführliche Gerätespezifikation beschreiben, Querempfindlichkeiten angeben, Messbereiche, Nachweis-/Bestimmungsgrenzen angeben, Verwendung geeigneter Messeinrichtungen und -verfahren, Bestimmung der Wiederfindungsrate der Messkette

Vorversuche zur notwendigen Messzeit, zur Beprobung, Vorversuche unter Laborbedingungen, Empfehlung

Teilnahme an Vergleichsmessungen und Ringversuchen, zugelassene Messstelle

- Kalibrierung

Gase: Nullpunkt und Empfindlichkeit bei jeder Messperiode

Andere Parameter: abhängig von Messgerätecharakteristika, Vergleich mit Referenzsystemen

Volumenstrommessung: Überprüfung im Einbau

- Wartung

Mind. gemäß Herstellerangaben



- Datenaufbereitung

Rohdaten müssen vorliegen, Beschreibung zur Datenaufbereitung muss dezidiert vorliegen

- Datenselektion

Plausibilitätsprüfung (Kriterien angeben), vollständige Messungen

- Messunsicherheit, Fehlerfortpflanzung

Angabe des Intervalls um das Messergebnis, das den wahren Wert mit einer vorgegebenen Wahrscheinlichkeit einschließt; statistische Methoden zur Fehlerbestimmung und Fehlerfortpflanzung, VDI Richtlinien berücksichtigen

- Emissionsberechnung bzw. Ableitung eines Emissionsfaktors

Abzug Hintergrundwerte, Darlegung Umrechnungsfaktoren und Bezugsgrößen, ggf. Gewichtungsfaktoren angeben, Interpolation, Angaben in allen relevanten Bezugsgrößen (s. o.), Angabe von Normbedingungen, Angabe von Rechenwerten

- Bezugsgrößen

Gemäß Anforderung der nationalen Regelung sind die Bezugsgrößen festzulegen: je Tierplatz, GV, Tier, Hierfür sind die folgenden Angaben notwendig: Tierzahl, Lebendgewicht (kg), Großvieheinheiten (GV), (Heat Production Unit), Gesamtfläche (m²), Volumen (m³), Stickstoff- und Kohlenstoff-Input, Stickstoff- und Kohlenstoff-Output, Leistung (Produkt)

- Berechnung von Minderungsgraden

Vorgabe des Rechenwegs, Angabe der absoluten Minderung, Angabe der prozentualen Minderung

- Beschreibende Statistik

Notwendige Parameter sind

- Mittelwert
- Median
- Min/Max
- Perzentile: 5 und 95 %, Standardabweichung/Varianz
- Peak to Mean (Mittelwert/Maximum) eher bei Geruch und Staub
- Häufigkeitsverteilung
- Testverfahren

Literatur

KTBL (2001): Messmethoden für Ammoniak-Emissionen, KTBL Schrift 401

KTBL (2006): Gülle - Mengen genau ermitteln, Proben richtig ziehen. KTBL Heft 61

VERA (2012): Messprotokolle. <http://www.veracert.eu/en/technology-manufacturers/test-protocols/>



Anhang

Stand 31.01.2013

Methoden zur Messung des Luftvolumenstroms bzw. der Emissionen bei Stallgebäuden mit freier Lüftung und von Flächenquellen

Die im Folgenden beschriebenen Methoden sind zur Ermittlung des Luftvolumenstroms bzw. von Emissionen bei den Quellarten

- freigelüftete Ställe (Trauf-First-Lüftung, Offenstall mit Querlüftung, Offenfrontstall, Schachtlüftung, Spaceboard- und Firstlüftung)
- freigelüftete Ställe mit Auslauf/Laufhof: Stall freigelüftet, Auslauf/Laufhof am Stallgebäude angebaut oder zwischen zwei Stallgebäuden integriert, Mehrgebäudeställe
- Flächenquellen wie Futterlager, Wirtschaftsdüngerlager (Flüssig- bzw. Festmist) etc. verwendbar

Der Emissionsmassenstrom je Zeiteinheit aus dem Stallgebäude wird als Produkt des Anstiegs der jeweiligen Stoffkonzentration gegenüber der Zuluft- oder Hintergrundkonzentration und des Luftvolumenstroms je Zeiteinheit berechnet. Letzterer ermittelt sich aus der Luftwechselrate und dem Stallvolumen. Zur Ermittlung der Emission aus offenen Stallsystemen stehen verschiedene Tracer-Methoden und die Bilanzierungsmethoden zur Verfügung.

Bei Flächenquellen kann auf Kammertechniken zurückgegriffen werden. Im Einzelnen sind nachfolgend die Vor- und Nachteile der Methoden und generelle Bemerkungen aufgelistet.



Tab. 1: Übersicht von Methoden zur Messung des Luftvolumenstroms bzw. der Emissionen bei Stallgebäuden mit freier Lüftung und von Flächenquellen

Methode	Einsatzbereich, Prinzip	Bewertung	Weitere Anmerkungen	Quelle
Tracermethoden				
Konstante Zudosierung (Tracer-Ratio)	Flächenquellen: Stall, Laufhof, Lager Abbildung der Emissionsquelle anhand eines zudosierten Tracergases Berechnung der Emission aus dem zu dosierten Tracergas-Massenstrom und dem Konzentrationsverhältnis von Tracergas zu emittierendem Gas	Unter Praxisbedingungen möglich Echtzeitmessungen Etabliert bei freier Lüftung Hohe zeitliche Auflösung möglich Hoher technischer Aufwand erforderlich Gute Durchmischung von Tracer und Stallluft zwingend Repräsentative Zudosierung und Probenahme notwendig	Geeignet für frei gelüftete Stallsysteme auch mit Laufhof Kontinuierliche Messung bei konstanter Zudosierung möglich	BARBER and OGILVI (1984) BERRY et al. (2005) SEIPELT (1999) BREHME (2000) DEMERS et al. (2000), (2001) NIEBAUM (2001) SNELL et al. (2003) SCHOLTENS et al. (2004) DORE et al. (2004) NANNEN et al (2006) SCHNEIDER et al. (2006)
Abklingmethode		Sehr genaue Abklingkurven möglich	Keine kontinuierliche Messung bei der Abklingmethode möglich	SCHRADE (2009)
Konstante Konzentration		Hoher Tracerverbrauch und aufwendiges Regulationssystem	Technisch kaum realisierbar bei stark dynamischen Prozessen	BREHME (2000) NIEBAUM (2001)
Bilanzierungsmethoden				
CO ₂ -Bilanz	Stallgebäude Berechnung des Luftvolumenstroms bzw. der Emissionen anhand des Konzentrationsgradienten von CO ₂ , Wasserdampf oder Wärme innerhalb und außerhalb des Stalls sowie deren theoretische Abgabe durch die Tiere unter Berücksichtigung klimatischer Bedingungen	Technisch schnell einsetzbar Kostengünstig Ungenau, wenn nur mit Standardkoeffizienten für die CO ₂ -Abgabe gerechnet wird oder wenn geringe oder kaum messbare Unterschiede zwischen Außen- und Innenluftkonzentration vorliegen Vollständige Erfassung aller Quellen (verschmutzte Laufflächen, Einstreu, Güllelager im Stall, Tiere) und Senken erforderlich	Für Ställe mit großen Öffnungen und Laufhof nicht geeignet CO ₂ und Wachstumskurven: wie wirkt sich Wachstum, Leistung und Tieraktivität auf CO ₂ - Abgabe aus und damit auf die Bilanz bei verschiedenen Tierarten → Einschränkungen ermitteln	PENMAN und RASHID (1982) SCHOLTENS und VAN'T OOSTER (1994) VAN 'T KLOOSTER und HEITLAGER (1994) PEDERSEN et al. (1998) DEMERS et al (2001) MÜLLER (2001) ROM et al. (2004) SAMER et al. (2011)
Wasserdampfbilanz		Bewertung wie bei CO ₂ -Bilanz Bilanzmethode ungenauer als CO ₂ -Bilanz Aufwand größer im Vergleich zu CO ₂ -Bilanz		VAN 'T OOSTER et al. (1994)
Wärmebilanz		Wärmebilanz nur bei großer Temperaturdifferenz zwischen Innen und Außen möglich Bilanzmethode ungenauer als CO ₂ -Bilanz Aufwand größer im Vergleich zu CO ₂ -Bilanz Wärmebilanz nur bei gedämmten Ställen möglich		VAN 'T OOSTER et al. (1994)

Fortsetzung nächste Seite



Methode	Einsatzbereich, Prinzip	Bewertung	Weitere Anmerkungen	Quelle
Druckdifferenzmessung				
	Berechnung des Luftvolumenstroms anhand von Druckdifferenzen an jeder Öffnung	Druckdifferenzmessung ist unzuverlässig, denn bei geringen Windgeschwindigkeiten und sehr offenen Gebäudestrukturen ergeben sich große Messfehler Als alleinige Methode nicht einsetzbar		VAN`T OOSTER et al. (1994) DEMERS et al (2001)
Kammertechnik				
Statische Kammer (Closed Chamber, Haube)	Flächenquellen (Mikrokammer, Messglocke) Kammer steht luftdicht auf emissionsaktiver Oberfläche Berechnung der Emissionsrate über Anstieg der Gaskonzentration bezogen auf die Fläche	Kostengünstig Für geringe und möglichst statische Freisetzungsbedingungen Einfache Handhabung Zur vergleichenden Untersuchung von Einflussparametern gut einsetzbar Nicht für Stallsysteme einsetzbar, nur für Flächenquellen ohne Tieraktivität Eingriff in das System	Zeitliche und räumliche Repräsentativität gewährleisten Nur kurzzeitige diskontinuierliche Vergleichsmessungen Durch die Veränderung der Strömungsbedingungen wird die Methode als nicht geeignet zur Ermittlung von NH ₃ -Emissionsfaktoren angesehen Eignet sich auch für sehr geringe Emissionsraten Für vergleichende Messungen, bei NH ₃ nur relative Emissionsmessung	HUTCHINSON und MISOIER (1981) LOCKYER (1984) MOSIER (1989) DENMEAD und RAUPACH (1993) HUTCHINSON und LIVINGSTON (1993) HARTUNG (1995) KECK (1997b) PEU et al. (1999) LEFCOURT (2002) VDI (2005) HENSEN et al. (2006) WOODBURY et al. (2006) LEINKER (2007) REINHARDT-HANISCH (2008) SAHA (2011)
	Flächenquellen (Mikrokammer, Messtunnel) Luft wird mit definierter Geschwindigkeit durch Kammer gesaugt; Berechnung der Emission aus der Konzentrationsdifferenz zwischen eintretender und austretender Luft in Verbindung mit dem Luftdurchsatz	Kostengünstig Eher für höhere und dynamische Freisetzungsbedingungen Einfache Handhabung Eingriff in das System Nicht für Flächenquellen mit Tieraktivität geeignet nur für Flächenquellen geeignet Zur vergleichenden Untersuchung von Einflussparametern gut einsetzbar Für partielle Fragestellungen innerhalb eines Stallsystems anwendbar	Zeitliche und räumliche Repräsentativität gewährleisten Nur kurzzeitige Vergleichsmessungen Braucht Mindestemissionsrate; bei sehr geringen Raten nicht geeignet	
Dynamische Kammer (Open Dynamic Chamber, u. a. Windtunnel)	„Eingehauste“ Quellen (Makrokammer) Möglichkeit der gesamten Einhausung des Systems	Eingriff in das System Beeinflussung des Messobjektes Aufwendiger Versuchsaufbau für Übertragbarkeit Vorteil: kann gesamtes System erfassen	Tiere befinden sich im Messsystem Schwierige Abbildung realer mikroklimatischer Bedingungen	RATHMER (2001) GILLHESPY et al. (2006) WEBB et al. (2003)

Fortsetzung nächste Seite



Methode	Einsatzbereich, Prinzip	Bewertung	Weitere Anmerkungen	Quelle
Rückrechnung von Immission auf Emission Fencing Mikro-meteorologie (Eddy-Korrelation, Eddy-Akkumulation, Gradientenmethode)	Gesamtsystem: Stall, Laufhof und Lager Ausbringung Messung der Konzentrationen bzw. Gradienten in definierten Distanzen bzw. der Abluftfahne Berechnung der Quellstärke unter Berücksichtigung der meteorologischen Bedingungen mit geeigneten Ausbreitungsmodellen	Für gegliederte Topographie nicht anwendbar Rückrechnung erfordert Validierung von Modellrechnung/ Modellannahmen Keine Differenzierung der Bereiche Stall, Laufhof und Lagerung möglich	Nur bei hoher Quellstärke, stabiler Wetterlage, Mindestwindgeschwindigkeiten und klarer Topografie möglich (Ebene) Eher typische Methode bei der Ausbringung	FOWLER und DUYZER (1989) DENMEAD und RAUPACH (1993) FLESCH et al. (1995) PHILLIPS et al. (2001) LAUBACH und KELLIHER (2005) HENSEN et al. (2006) HUGO et al. (2006)

Weitere Methoden, die allerdings nicht zur direkten Volumenstrombestimmung verwendet werden können:

- Ergänzend zur Messung können Modellierung- und Simulationsrechnungen zur Reduktion des Messaufwandes verwendet werden (u. a. Computational fluid dynamics, Ausbreitungsmodelle)
- Messung der Strömungsgeschwindigkeit an der Grenze zwischen Stall und der Umgebung mit Anemometer: Voraussetzung geschlossenes Gebäude mit definierten Zu- und Abluftöffnungen

Literatur

Die Literatur ist beim KTBL erhältlich.

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

Bartningstraße 49 | 64289 Darmstadt
 Telefon: +49 6151 7001-0 | Fax: +49 6151 7001-123
 E-Mail: ktbl@ktbl.de | www.ktbl.de

Eingetragen im Vereinsregister beim Amtsgericht Darmstadt, Aktenzeichen 8 VR 1351

Vereinspräsident: Prof. Dr. Thomas Jungbluth
 Geschäftsführer: Dr. Heinrich de Baey-Ernsten
 Verantwortlich im Sinne des Presserechts: Dr. Heinrich de Baey-Ernsten

Diese Information wurde vom KTBL und den Autoren nach bestem Wissen und Gewissen zusammengestellt. Das KTBL und die Autoren übernehmen keine Gewähr für Aktualität, Vollständigkeit und Fehlerfreiheit der bereitgestellten Inhalte. Herausgegeben mit Förderung des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages.

© 2013 Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. Nachdruck nur mit Quellenangabe.