



Vorgehensweise zur Ermittlung repräsentativer Emissionsfaktoren – Messprotokoll für zwangsgelüftete Stallsysteme – Beispiel Mastschweine

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 zwangsgelüfteten Ställen am Beispiel eines Mastschweinestalles. 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 zwangsgelüftete Ställe, hier am Beispiel der Mastschweinehaltung, erstellt.

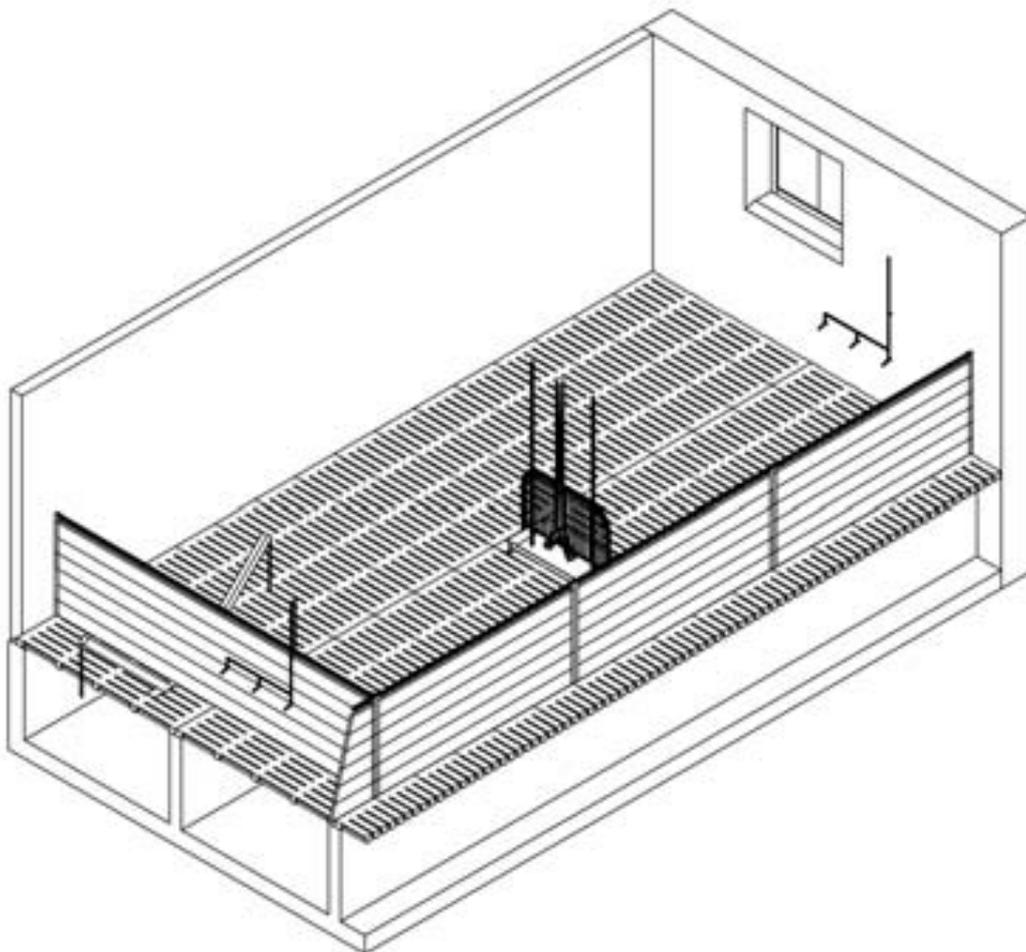
Beispiel Mastschweinehaltung: zwangsgelüfteter Stall, Vollspaltenboden Beschreibung des Messobjektes

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:	Schwein
Produktionsrichtung:	Mast
Haltungs-/Mastabschnitt:	30–100 kg Lebendgewicht
Kennzahlen zur Tierleistung:	Tägliche Zunahme, Futtermittelverwertung, Mortalitätsrate, Wachstumskurven ...
Kurzbeschreibung Haltung:	zwangsgelüfteter Stall, Vollspaltenboden, ...
Tierplatzzahl bzw. Abmessungen:	Gruppengröße, Fläche je Tier, Luftvolumen je Tier
Bauausführung:	Dämmung, Raumgestaltung, Stallgröße, Buchtengröße, Abteile, Bodengestaltung (Bodenart(en), Funktionsbereiche), Lageplan, Schnitte
Fütterung:	Beschreibung der Technik und des Managements (Ration, Phasen insb. hinsichtlich Rohprotein Gehalt, Trockenflüssigfütterung)



Lüftung/Klimatisierung:	Beschreibung – Auslegungsluftraten nach DIN 18910 (Sommer, Winter); Lüftungsregelung, Zuluft-/Abluftführung, Heizung, Temperaturniveau im Stall, allgemeine Angaben zum Standortklima (Jahresdurchschnittstemperatur, Sommer-/Wintertemperatur), Lageplan, Zeichnungsunterlagen
Entmistung:	Art, Häufigkeit der Entmistung (Lagerdauer im Stall), Lager Wirtschaftsdünger: Beschreibung (auch externe Lagerung), Besonderheiten: können aufgeführt werden
Mindestanforderungen an das Management:	Organisation, Fütterung, Lüftung, Entmistung
Vorhandene Minderungsmaßnahmen:	welche Maßnahmen gibt es bereits, die eine Emissionsminderung erwarten lassen; Besonderheiten wie Kottrocknung (TS-Gehalt, Belüftungsrate pro Tierplatz), Schwimmschichten, Stallluftbehandlung
Skizze, Zeichnung:	Draufsicht, Schnitt des Stalles/Abteils mit Lage der Zu- und Abluftpunkte, Querschnitt mit Messpunkten etc.





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 sind Mindestanforderungen zu erfüllen. Die Auswahl der zu messenden Parameter orientiert sich an den jeweiligen Fragen.

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 Probenahmeort: Querschnitt der Abluftschächte, möglichst Mischprobe	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) Messort: Zuluft und Abluft Korrektur der Hintergrundkonzentration	NDIR, FTIR, PAS, NO _x -Konverter Anreicherung: Richtlinie VDI zu Impinger
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; microbalancing TEOM

Fortsetzung nächste Seite



Parameter/Einheiten	Messbedingungen (wo, wie und wie oft)	Messmethode (Referenz zur Methode)
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). Messort: Zuluft und Abluft Korrektur der Hintergrundkonzentration	NDIR, FTIR, GC, FID mit CH ₄ -Konverter, möglichst kontinuierlich, mindestens 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) Messort: Zuluft und Abluft 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 Stundenwerten (24 Proben). Messort: Zuluft und Abluft Korrektur der Hintergrundkonzentration	NDIR, FTIR, PAS, GC möglichst kontinu- ierlich; mindestens stündlich über 24 Stunden (GC)
NM VOC	Mindestanzahl und Verteilung der Messtage (siehe Tab. 1 und 2) Messdauer: 24 Stunden Kontinuierliche Messungen basierend auf Stundenwerten (24 Proben) Messort: Zuluft und Abluft 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]	An allen Luftaustrittspunkten, kontinuierlich/parallel zur Konzentrationsmessung	Zwangslüftung, geführte Quellen: Messventilatoren für Volumestromermittlung, Staudruckmessung (VDI-Richtlinie)
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 Lebendgewicht der Tiere in der Stalleinheit (V) [kg]	Datum, Anzahl und Gewicht der Tiere bei Einstellung und Ausstallung, während der Messtage; Angabe der Servicezeiten	Wiegen
Fläche pro Tier (V) [m ²] Luftvolumen pro Tier (V) [m ³] (Berechnungsgröße)	Bodentyp (Material, Perforationsgrad, Bedingungen)	Dokumentation
Klimaparameter (V) Außenklima und Stallklima Luftgeschwindigkeit Luftfeuchte Globalstrahlung Niederschlag Windrichtung Luftdruck	Für alle Messtage und Messpunkte kontinuierlich über die gesamte Messdauer Messorte: Stall, außen	Min. Stundenwerte, besser Minutenwerte (Wetterstation zur Bestimmung der Wettersituation 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 Heft 61: Gülle – Mengen genau ermitteln, Proben richtig ziehen)	Labormethoden, VDLUFA
Registrierung der Zeiten Güllekanal/Güllekanal geleert Füllstand Fütterungszeiten Entmistungszeiten Entmistungsintervalle (V)	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
Futtermenge und -zusammensetzung [kg] (V) ¹⁾ TM [%] ME [MJ/kg] C XP XF Lysin P, K Zusätze Fütterungsstrategie und -frequenz	Proben ziehen Probenahme während der Messperiode/ Messtage	Labormethoden, VDLUFA Dokumentation

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

Parameter/Einheit	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 Minderungstechnik	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] Ggf. auch Strömungs-/Rauchversuche, um Luftführung/Strömungsverlauf im Stall zu dokumentieren (O)	Kontinuierliche Messungen	Definition der Stoffe, Benennung der Inhaltsstoffe, Anfall von Reinigungswasser

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. 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 (Beheizung), Filter, Adsorption, Adsorption, Kondensation, Leckagen und Verstopfungen während der Probenahme sind durch entsprechende Vorkehrungen zu verhindern und die Probenahme ist entsprechend zu überwachen bzw. zu kontrollieren.

- Beprobungsdauer und Beprobungsreihenfolge der Messstellen

Ausreichende Messzeit vorsehen (Totzeiten, Spülzeiten, An- und Abstiegzeiten berücksichtigen bzw. verwerfen), 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

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

Staubproben: Konditionierung der Filter, Differenzwägung, geeigneter Wägersaum 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 folgende 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/>

Autoren

Dr. Brigitte Eurich-Menden und Ewald Grimm, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Darmstadt

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.