

EmiDaT

KTBL

Ermittlung von Emissionsdaten für die Beurteilung der Umweltwirkungen der Nutztierhaltung (EmiDaT)





Abschlussbericht

Ermittlung von Emissionsdaten für die Beurteilung der Umweltwirkungen der Nutztierhaltung (EmiDaT)

Brigitte Eurich-Menden | Ulrike Wolf | Dieter Horlacher | Gianna Dehler |
Alexej Smirnov

Herausgeber

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

Fachliche Begleitung

Projektbeirat „EmiDaT“

Ingeborg Bayer | Dr. Gabriele Borghardt | Prof. Dr. Reiner Brunsch | Prof. Dr. Wolfgang Büscher |
Dr.-Ing. Wilfried Eckhof | Prof. Dr. Heinz Flessa | Frank Geburek | Dr. Isabel Gussek |
Martin Kamp (Vorsitzender) | Dr. Hans-Heinrich Kowalewsky (aktiv bis 31.12.2015) | Dr. Wilhelm Pflanz |
Prof. Dr. Ir. Herman Van den Weghe (aktiv bis 31.12.2020)

KTBL-Arbeitsgruppe „Ermittlung von Emissionsdaten für die Beurteilung der Umweltwirkungen der Nutztierhaltung – EmiDaT“

Prof. Dr. Thomas Amon | Gianna Dehler | Dr. Brigitte Eurich-Menden | Susanne Gäckler |
apl. Prof. Dr. Eva Gallmann (Vorsitzende) | Prof. Dr. Eberhard Hartung | Thomas Heidenreich |
Dr. Dieter Horlacher | Stefan Linke | Dr. Stefan Nesper | Dr. Nico Ogink | Dr. Sabine Schrade |
Dr. Manfred Trimborn | Dr. Ulrike Wolf

Bitte zitieren Sie dieses Dokument bzw. Teile daraus wie folgt:

KTBL (2024): Ermittlung von Emissionsdaten für die Beurteilung der Umweltwirkungen der Nutztierhaltung (EmiDaT).
Abschlussbericht. Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL)

Finanzielle Förderung

Die Förderung erfolgt aus Mitteln des Zweckvermögens des Bundes bei der Landwirtschaftlichen Rentenbank, Frankfurt am Main.

Förderkennzeichen: 741 183/1

Laufzeit

01.10.2014 – 30.03.2022

© KTBL 2024

Herausgeber und Vertrieb

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

Bartningstraße 49 | 64289 Darmstadt

Telefon +49 6151 7001-0 | E-Mail: ktbl@ktbl.de

vertrieb@ktbl.de | Telefon Vertrieb +49 6151 7001-189

www.ktbl.de

Herausgegeben mit Förderung des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages.

Titelfoto

© KTBL | E. Grimm

Inhalt

Hinweise	6
1 Einleitung	7
2 Ziele des Projekts	8
3 Material und Methoden	9
3.1 Methoden der Emissionsmessungen Ammoniak (NH ₃), Kohlendioxid (CO ₂) und Methan (CH ₄)	9
3.1.1 Messprinzip (kontinuierliche Emissionsmessungen)	9
3.1.2 Weitere NH ₃ -Bestimmungsmethoden	9
3.2 Geruch	9
3.3 Datenaufbereitung	10
3.3.1 Datenplausibilisierung	10
3.3.2 Datenbankanwendung	10
3.3.3 Kriterien für die Synchronisierung von asynchron erfassten Daten	10
3.4 Berechnung der Emissionsraten	11
3.5 Datenanalyse	14
3.5.1 Zusammenfassung von Einzelmesswerten zu aggregierten Messwerten	16
3.5.2 Statistische Auswertungen	17
3.5.3 Temperaturnormierung und nachfolgende Gruppenvergleichsanalyse	20
3.6 Verwendete Bezugsbasen und ergänzende Angaben	21
4 Milchkuhbetriebe ohne Weidehaltung	22
4.1 Auswahl der Betriebe	22
4.2 Standortbeschreibungen	23
4.3 Messaufbau	25
4.4 Erfassung weiterer Messgrößen und Betriebsinformationen	26
4.4.1 Tierbezogene Daten	27
4.4.2 Daten zu baulichen Gegebenheiten und Betriebsmanagement	27
4.5 Ergebnisse Ammoniak-Emissionsraten	28
4.6 Ergebnisse Methan-Emissionsraten	30
4.7 Ergebnisse Geruch	32
5 Milchkuhbetriebe mit Weidehaltung	33
5.1 Auswahl der Betriebe	33
5.2 Standortbeschreibungen	34
5.3 Messaufbau	34
5.4 Ergebnisse Ammoniak	35
5.5 Einfluss der Weidezeiten auf die NH ₃ - und CH ₄ -Konzentrationen im Stall	36
6 Managementempfehlungen für Milchkuhbetriebe	39
7 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen für Milchkuhbetriebe	41

8	Schweinemastbetriebe	43
8.1	Auswahl der Betriebe	43
8.2	Standortbeschreibungen	46
8.3	Messaufbau	48
8.4	Erfassung weiterer Messgrößen und Betriebsinformationen	50
8.4.1	Tierbezogene Daten	50
8.4.2	Daten zu baulichen Gegebenheiten und Betriebsmanagement	50
8.5	Ergebnisse Ammoniak-Emissionsraten	50
8.6	Ergebnisse Methan-Emissionsraten	52
8.7	Ergebnisse Geruch	54
8.8	Geschlossene, zwangsgelüftete Ställe	55
8.8.1	Emissionsberechnung	55
8.8.2	Ergebnisse Ammoniak-Emissionsraten aus zwangsgelüfteten Ställen	56
9	Managementempfehlungen für Schweinemastbetriebe	57
10	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen für Schweinemastbetriebe	59
11	Abschließende Betrachtung	60
	Danksagung	62
	Literatur	64
	Abbildungsverzeichnis	66
	Tabellenverzeichnis	68
	Abkürzungen	70
	Anhang	71

Hinweise

- Im Projekt wird die gemessene und auf das Jahr hochgerechnete Menge freigesetzter Ammoniak- und Methanemissionen pro Tierplatz oder Großvieheinheit als „Emissionsrate“ bezeichnet. Im Gegensatz dazu ist der Begriff „Emissionsfaktor“ ein dimensionsloser Parameter, der die Emissionen im Verhältnis zur ausgeschiedenen TAN-Menge angibt.
- Im Rahmen dieses Berichts werden die Begriffe „Großvieheinheit“ (GV, entsprechend 500 kg Lebendmasse) und „Livestock Unit“ (LU) synonym verwendet.
- Als Milchkühe werden im Projekt alle Kühe im Stall erfasst: laktierende, trockenstehende Kühe und belegte Jungrinder, sogenannte Färsen.
- Bei den Milchkühen ist ein Tierplatz mit einer Milchkuh belegt. Dieser Tierplatz für Milchkühe ist im Projekt mit 1,35 Großvieheinheiten angegeben. Bei den Mastschweinen entspricht ein Tierplatz (ein Mastschwein) 0,13 Großvieheinheiten.
- Im Bericht wird der Begriff „Gülle“ synonym für „Flüssigmist“ verwendet.

1 Einleitung

Deutschland hat sich im Rahmen europäischer Abkommen zur Luftreinhaltung (NEC Richtlinie 2016) verpflichtet, vorgegebene Emissionsgrenzwerte einzuhalten und die Stickstoffemissionen aus unterschiedlichen Sektoren, einschließlich der Landwirtschaft, jährlich zu dokumentieren. Die Nutztierhaltung trägt mit einem Anteil von ca. 70% maßgeblich zu den Ammoniakemissionen bei. Zu den Hauptquellen dieser Emissionen zählen Stallanlagen sowie die Lagerung und das Ausbringen von Wirtschaftsdüngern wie Flüssig- und Festmist.

Für die Abschätzung der jährlichen NH_3 -Emissionen, differenziert nach Tierart, Produktionsrichtung und Haltungsverfahren, ist es erforderlich, auf aktuelle Jahresemissionsraten zurückzugreifen. Die bisher in Deutschland für Ammoniak verwendeten Jahresemissionsraten (VDI 2011) beruhen auf älteren Untersuchungen, teilweise noch aus den 1990er-Jahren. Diese Werte sind mehrheitlich Konventionswerte. Angesichts veränderter Produktionsbedingungen und verbesserter Messtechnologien ist es angezeigt, diese Werte systematisch zu überprüfen und zu aktualisieren. Zudem ist es notwendig, Haltungsverfahren zu erfassen, z. B. Ställe mit Auslauf für Mastschweine, für die keine oder nur wenige Untersuchungsergebnisse vorliegen.

Im Rahmen des Projekts „Ermittlung von Emissionsdaten für die Beurteilung der Umweltwirkungen der Nutztierhaltung“ (EmiDaT) wurden Emissionen von Ammoniak, Methan und Geruch aus Liegeboxenlaufställen für Milchkühe sowie aus frei gelüfteten Mastställen mit Auslauf für Schweine in verschiedenen Regionen Deutschlands gemessen. Weiterhin wurden die bisher für geschlossene, zwangsgelüftete Ställe angenommenen Ammoniak-Emissionsraten im Kontext des Projekts einer Plausibilitätsprüfung unterzogen, dieser Abschlussbericht fasst die Ergebnisse zusammen. Allen, die sich mit Emissionen aus der Milchkuh- und Mastschweinehaltung befassen – wissenschaftliche Einrichtungen, Ingenieur- und Planungsbüros, Genehmigungsbehörden – bietet er Daten und Messmethoden.

2 Ziele des Projekts

Das Projekt verfolgte primär das Ziel, NH₃-Emissionen aus modernen Liegeboxenlaufställe für Milchkühe sowie für Mastställe mit verschiedenen gestalteten Ausläufen (planbefestigter und eingestreuter Auslauf; Auslauf mit Spaltenboden) für Mastschweine zu schätzen, ergänzt mit der Ermittlung von Methan- und Geruchsemissionen.

Diese gewonnenen Daten dienen mehreren Zwecken:

- der Verbesserung der Emissionsberichterstattung im Rahmen nationaler und internationaler Regelungen zur Luftreinhaltung und zum Klimaschutz, was wiederum die Einhaltung von Emissionsobergrenzen in Deutschland unterstützt,
- der Bestimmung der besten verfügbaren Techniken (BVT) auf nationaler und europäischer Ebene und
- zur Beurteilung des Emissionsverhaltens neuer innovativer Haltungsverfahren mit freier Lüftung und Auslauf im Rahmen der Tierwohlinitiative, um deren Verbreitung und Akzeptanz in der Praxis zu steigern.

Weitere Ziele im Projekt umfassten:

- die Emissionsermittlung anhand von spezifischen Messprotokollen,
- die Validierung und Etablierung von Messstandards für zukünftige Vorhaben,
- der Aufbau einer repräsentativen, einheitlichen Datengrundlage für Emissionen aus der Milchkuh- und Schweinehaltung,
- die Ermittlung von aktuellen Emissionsraten und -faktoren für die untersuchten Haltungsverfahren und
- die Ableitung von Managementempfehlungen für die Praxis.

3 Material und Methoden

3.1 Methoden der Emissionsmessungen Ammoniak (NH₃), Kohlendioxid (CO₂) und Methan (CH₄)

In diesem Kapitel werden die verwendeten Verfahren zur Messung der Emissionen von Ammoniak (NH₃), Kohlendioxid (CO₂) und Methan (CH₄) in landwirtschaftlichen Betrieben beschrieben. Eine genaue Quantifizierung dieser Gase ist essenziell für die korrekte Berechnung und Beurteilung der Emissionen aus der Tierhaltung. Die angewandten Methoden beinhalten sowohl kontinuierliche als auch diskontinuierliche Messverfahren, welche die Erfassung und Analyse der Emissionsdaten aus verschiedenen Quellen ermöglichen.

3.1.1 Messprinzip (kontinuierliche Emissionsmessungen)

Die Ventilationsraten der Stallgebäude und Ausläufe wurden gemäß Tracergas-Methode (VERA 2018) ermittelt. Die Messungen der Gaskonzentrationen erfolgten mit qualitätsgeprüften FTIR-Messgeräten. Die Messung der SF₆-Konzentrationen erfolgte mit einem GC-ECD.

Der Umfang der durch verschiedene Messinstitute ausgeführten Messungen ist im [Anhang 1 und 2](#) aufgeführt.

Die Emissionsmessungen wurden entsprechend der Vorgaben nach VERA (2018) an jedem Standort für mindestens sechs Messwochen durchgeführt. Dabei wurden pro Jahreszeit (Winter, Übergang, Sommer) jeweils zwei unabhängige Wochen gemessen. Die Zuordnung zu Jahreszeiten (Monatsangaben als Richtwerte) erfolgte anhand von Tagesmitteltemperaturen während der jeweiligen Messwochen:

- Winter (Mitte November bis Mitte März): < 5 °C
- Übergangszeit (Mitte März bis Mitte Mai; Mitte September bis Mitte November): > 5 bis ≤ 15 °C
- Sommer (Mitte Mai bis Mitte September): > 15 °C

3.1.2 Weitere NH₃-Bestimmungsmethoden

Als diskontinuierliche Methode zur Bestimmung der Ammoniakkonzentrationen wurden gemäß VERA (2018) zusätzlich Waschflaschen (Impinger) über den Zeitraum von 24 Stunden eingesetzt. Im Rahmen der Qualitätssicherung wurden zusätzlich zwei Mal pro Messwoche Waschflaschen über einen Zeitraum von jeweils 30 Minuten verwendet. Die Analyse der Ammoniumkonzentrationen in den Waschflaschen erfolgte nasschemisch mit Standard-Labormethoden. Die Durchführung erfolgte nach VDI 3496 Blatt 1: Messen gasförmiger Emissionen; Bestimmung der durch Absorption in Schwefelsäure erfassbaren basischen Stickstoffverbindungen.

Zudem wurden für die Erfassung der Ammoniakkonzentration in der Stallumgebung 2 bis 4 Passivsammler je nach Standort und Tierart in 100 bis 200 m Entfernung aufgestellt. Die Expositionsdauer umfasste jeweils eine Messwoche mit Doppelbeprobung an jedem Probennahmepunkt. Die Erfassung erfolgte nach DIN EN 17346: Außenluft – Messverfahren zur Bestimmung der Konzentration von Ammoniak mit Passivsammlern; deutsche Fassung EN 17346:2020

3.2 Geruch

Die Durchführung der Geruchsmessungen erfolgte nach DIN EN 13725:2022-06: „Emissionen aus stationären Quellen – Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration durch dynamische Olfaktometrie und die Geruchsstoffemissionsrate; deutsche Fassung EN 13725:2022“. Die Einheit von Geruchsmessungen ist die

„Europäische Geruchseinheit“ (GEE). Die GEE ist ein standardisiertes Maß zur Bewertung der Intensität von Gerüchen, basierend auf der menschlichen Wahrnehmung. Eine GEE entspricht der Menge eines Geruchsstoffes, die von 50% einer Testgruppe gerade noch wahrgenommen wird. Dies ermöglicht eine objektive Einschätzung von Geruchsbelastungen, besonders relevant in Bereichen wie der Landwirtschaft und der industriellen Produktion, um Geruchsemissionen effektiv zu kontrollieren und Umweltstandards zu erfüllen. Die Geruchsproben wurden an den Detektionssammelleitungen im Stall entnommen. Dies erfolgte diskontinuierlich zu 3 Zeitpunkten an je einem ausgewählten Messtag in jedem Messzeitraum. Es wurde jeweils eine Doppelprobe ermittelt und anschließend im Labor innerhalb von 6 Stunden analysiert.

3.3 Datenaufbereitung

3.3.1 Datenplausibilisierung

Zunächst wurden die erhobenen Messdaten bezüglich zeitlicher Übereinstimmung innerhalb der jeweiligen Messzeiträume, den Zeitintervallen zwischen Einzelmessungen sowie auf fehlende Daten geprüft. Systematische Messfehler aufgrund von Gerätefehlern wurden als solche gekennzeichnet. Diese Daten wurden zur weiteren Verwendung nicht berücksichtigt.

3.3.2 Datenbankanwendung

Die Daten zu den Emissions- und Geruchsmessungen wurden von den Messinstituten im Dateiformat xlsx zur Verfügung gestellt und in eine Datenbank eingespeist. Mittels implementierter Datenbank-Algorithmen können mit den Messdaten die Ventilations- und Emissionsraten berechnet und ebenfalls im xlsx-Format wieder ausgegeben werden.

3.3.3 Kriterien für die Synchronisierung von asynchron erfassten Daten

Die Messungen der Gaskonzentrationen (CO_2 , NH_3 , CH_4 , SF_6) und meteorologischer Daten (Temperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit, Windrichtung etc.) im und außerhalb des Stallgebäudes oder im Auslauf erfolgten mit unterschiedlicher zeitlicher Auflösung.

Milchkühe

Im ersten Schritt der Datenaufbereitung erfolgte die Zuordnung der Gaskonzentrationen im Stallgebäude zu den Windrichtungssektoren sowie den gemessenen Gaskonzentrationen außerhalb des Stalls. Der Zeitpunkt (Zeitstempel) der Messung der Gaskonzentrationen im Stall wurde als Basiszeitpunkt sowohl bei der Verknüpfung mit den Daten der Windrichtungssektoren als auch bei der Verknüpfung mit den Messdaten der Gaskonzentrationen der einströmenden Luft verwendet.

Für die Zuordnung der Messdaten wurden verschiedene methodische Vorgehensweisen getestet. Die wichtigsten Aspekte beim Vergleich der Zuordnungsmethoden waren die tolerierbare Zeitspanne zwischen den einzelnen Erhebungen (Gas- und Wetterdaten). Als geeignetste Methode wurde für die Messungen bei den Milchkühställen mit CO_2 als natürlichem Tracergas sowie mit SF_6 als künstlichem Tracergas (Milchkuh mit Weidehaltung) „Wind S2“ ausgewählt.

Mastschweine

Für die Berechnung der Emissionen aus dem Auslauf für Mastschweine müssen den gemessenen NH_3 -Konzentrationen passende SF_6 -Konzentrationen zugeordnet werden. Dafür werden Datenpaare aus den

zeitlich am nächsten beieinanderliegenden Messwerten gebildet, unter Verwendung der Datenzuordnungsmethode „Time“.

Eine genaue Beschreibung dieser Zuordnungsmethoden ist im [Anhang 3](#) aufgeführt.

Wesentliche Kriterien für die Verknüpfung der jeweiligen Datensätze sind in Tabelle 1 gezeigt.

Tabelle 1: Verknüpfungskriterien der Datensätze nach ausgewählter Methode

Kriterium	Methode „Wind S2“ (Milchkühe)	Methode „Time“ (Mastschweine)
Zeitdifferenz Daten Wind und Gas	10-Minuten-Datenpaar: Gaskonzentration und Windrichtung	nicht vorhanden bei Methode „Time“
Zeitdifferenz zur Verknüpfung	10-Minuten-Datenpaar: CO ₂ -Konzentration (oder NH ₃ -Konzentration) innen und CO ₂ -Konzentration (oder NH ₃ -Konzentration) außen Datenpaar bei Weidehaltung: NH ₃ -Konzentration und SF ₆ -Konzentration (im leeren Stall)	1 Minute Datenpaar: NH ₃ -Konzentration und SF ₆ -Konzentration (im Auslauf)
Filterkriterien Datensatz	CO ₂ -Differenz zwischen innen und außen > 30 ppm NH ₃ -Differenz (und CH ₄ -Differenz) zwischen innen und außen > 0 Windgeschwindigkeit > 1 < 9 m s ⁻¹	NH ₃ -Differenz zwischen Auslauf und Hintergrund > 0 Windgeschwindigkeiten 0 < 9 m s ⁻¹
Tracergas	CO ₂ /SF ₆	SF ₆
Anströmungswinkel Wind	120°	-

3.4 Berechnung der Emissionsraten

Zur Ergebnisberechnung wird die Methodik nach VERA (2018) verwendet. Für Milchkühe erfolgt, basierend auf dieser Methodik, die Berechnung der Ventilations- und Emissionsraten unter Verwendung von CO₂ als natürlichem Tracer (Abbildung 1). Kohlendioxid wird durch die im Stall vorhandenen Tiere und die Umsetzungsvorgänge ihrer Exkremente produziert.

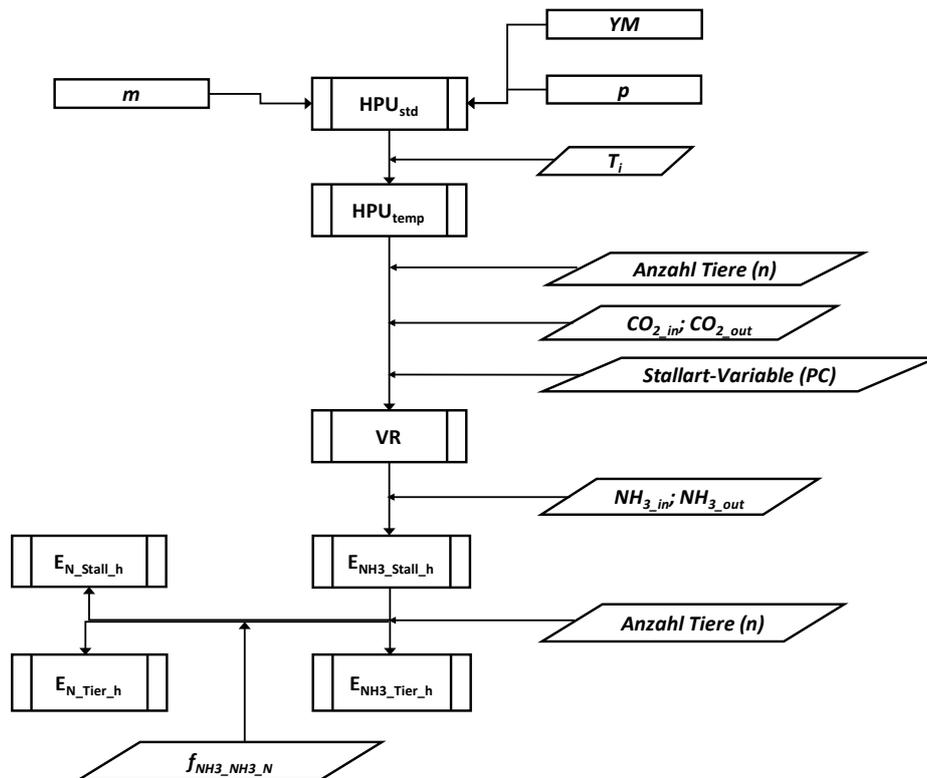


Abbildung 1: Schema der Berechnungsschritte zur Kalkulation von Emissionsraten für Milchkuhställe nach VERA (2018)

mit

m	= Körpermasse des Tieres (kg)
YM	= Milchleistung (kg ECM d ⁻¹)
p	= Tag der Trächtigkeit
HPU_{std}	= Wärmeproduktionseinheiten (1.000 W an Gesamtwärme bei 20 °C)
HPU_{temp}	= temperaturkorrigierte Wärmeproduktionseinheiten (1.000 W)
T_i	= Innenraumtemperatur (°C)
n	= Anzahl der laktierenden und trockenstehenden Kühe
CO_{2_in}	= CO ₂ -Konzentration der Stallluft (mg CO ₂ m ⁻³)
CO_{2_out}	= CO ₂ -Konzentration in der Außenluft (Hintergrundwert) (mg CO ₂ m ⁻³)
PC	= CO ₂ -Produktion (m ³ CO ₂ HPU ⁻¹ h ⁻¹) 0,18 für planbefestigten Boden (Laufbereiche); 0,20 für Spalten-/Teilspaltenboden (10% Aufschlag für CO ₂ -Bildung im Stall)
VR	= Ventilationsrate (Luftaustauschrate) (m ³ h ⁻¹)
NH_{3_in}	= NH ₃ -Konzentration in der Stallluft (mg NH ₃ m ⁻³)
NH_{3_out}	= NH ₃ -Konzentration in der Außenluft (Hintergrundwert) (mg NH ₃ m ⁻³)
$E_{NH3_Stall_h}$	= NH ₃ -Emission des Stalles (kg NH ₃ Stall ⁻¹ h ⁻¹)
$E_{NH3_Tier_h}$	= NH ₃ -Emission des Tieres (kg NH ₃ Tier ⁻¹ h ⁻¹)
$E_{N_Stall_h}$	= NH ₃ -N-Emission des Stalles (kg NH ₃ Stall ⁻¹ h ⁻¹)
$E_{N_Tier_h}$	= NH ₃ -N-Emission des Tieres (kg NH ₃ Tier ⁻¹ h ⁻¹)
$f_{NH3_NH3_N}$	= Umrechnungsfaktor NH ₃ zu NH ₃ -N: 14,0067/17,0310

Zur Ermittlung der Ventilations- und Emissionsraten in den Ausläufen der Außenklimaställe bei Mastschweinen und den Milchkuhställen mit Weidehaltung wurde SF₆ als künstliches Tracer gas verwendet. Am Beispiel der Mastschweine ist das Schema zur Berechnung der Emissionsraten in (Abbildung 2) gezeigt.

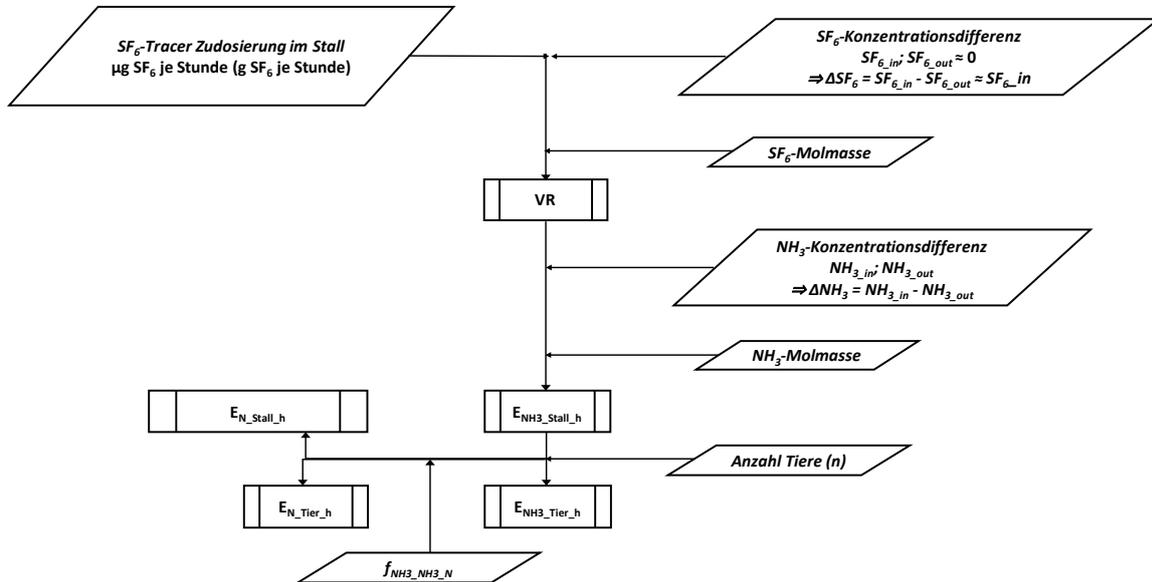


Abbildung 2: Schema der Berechnungsschritte zur Kalkulation von Emissionsraten für Mastschweineställe nach VERA (2018)

mit

SF _{6,in}	= SF ₆ -Konzentration Auslauf (μg SF ₆ m ⁻³)
SF _{6,out}	= wird als vernachlässigbar angesehen
NH _{3,in}	= NH ₃ -Konzentration Auslauf (mg NH ₃ m ⁻³)
NH _{3,out}	= NH ₃ -Konzentration der Außenluft (Hintergrundwert) (mg NH ₃ m ⁻³)
n	= Anzahl der Tiere
VR	= Ventilationsrate (Luftaustauschrate) (m ⁻³ h ⁻¹)
E _{NH3,Stall,h}	= NH ₃ -Emission des Stalles (kg NH ₃ Stall ⁻¹ h ⁻¹)
E _{NH3,Tier,h}	= NH ₃ -Emission des Tieres (kg NH ₃ Tier ⁻¹ h ⁻¹)
E _{N,Stall,h}	= NH ₃ -N-Emission des Stalles (kg NH ₃ Stall ⁻¹ h ⁻¹)
E _{N,Tier,h}	= NH ₃ -N-Emission des Tieres (kg NH ₃ Tier ⁻¹ h ⁻¹)
f _{NH3,NH3,N}	= Umrechnungsfaktor NH ₃ zu NH ₃ -N: 14,0067/17,0310
SF ₆ (Molmasse)	= 146,06 g mol ⁻¹
NH ₃ (Molmasse)	= 17,03 g mol ⁻¹

Die Berechnung der Volumenströme und der Emissionsraten für NH₃ und CH₄ der einzelnen Messzeitpunkte erfolgte auf Basis der Massenbilanzgleichung der Tracer-Ratio-Methode. In Gleichung 1a und 1b ist die Berechnung exemplarisch für NH₃ mit der Einheit m³ h⁻¹ für den Volumenstrom und g h⁻¹ für die Emissionsrate dargestellt:

$$VR = \frac{E_{Tracer}}{\Delta C_{Tracer}} \quad (\text{Gl. 1a})$$

$$E_{NH_3} = \frac{\Delta C_{NH_3}}{\Delta C_{Tracer}} \cdot E_{Tracer} \quad (\text{Gl. 1b})$$

mit

E_{NH_3} = Emissionsrate NH_3 ($g\ h^{-1}$)

E_{Tracer} = Emissionsrate Tracergas (CO_2 oder SF_6) (h^{-1})

ΔC_{NH_3} = NH_3 -Konzentrationsdifferenz zwischen Stallgebäude und Außenmesspunkt (Milchkühe) oder Auslauf und Hintergrund (Mastschweine) ($g\ m^{-3}$)

ΔC_{Tracer} = Konzentrationsdifferenz Tracergas (CO_2 oder SF_6) zwischen Stallgebäude und Außenmesspunkt (Milchkühe) oder Auslauf und Hintergrund (Mastschweine) ($g\ m^{-3}$)

VR = Ventilationsrate ($m^3\ h^{-1}$)

Für die Mastschweineställe mit Auslauf wurden als Hintergrundwert für Ammoniak die gemittelten Passivsammlerdaten und für Methan pauschal 1,96 ppm (UBA 2024) bei allen Messwochen abgezogen.

3.5 Datenanalyse

Nach der Berechnung der Emissionsraten für jeden Messzeitpunkt und deren anschließenden zeitlichen Aggregation zu Mittelwerten (Tagesmittel) erfolgt die weitere Aufbereitung des Datensatzes durch verschiedene Schritte der statistischen Datenanalyse. Abbildung 3 zeigt schematisch den gesamten Ablauf der Datenerhebung, Aufbereitung und Analyse im Projekt „EmiDaT“.

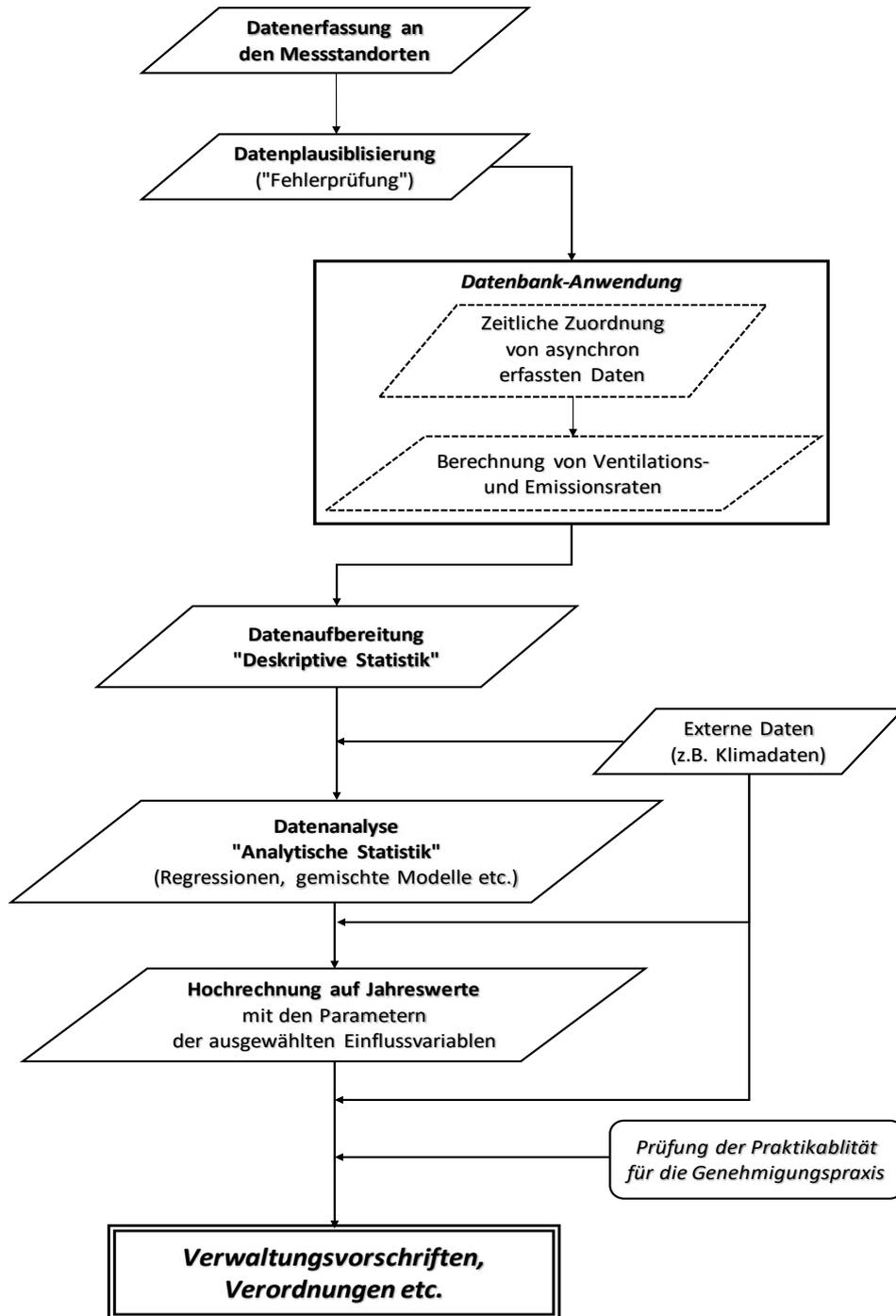


Abbildung 3: Schematische Darstellung der Datenerfassung, -aufbereitung und -analyse im Rahmen des Projekts (© KTBL)

Das Ziel der Datenauswertung bestand darin, ein plausibles Modell zu entwickeln, das unter Berücksichtigung der relevanten Einflussvariablen eine Hochrechnung auf Jahreswerte ermöglicht. Die Modellbildung erfolgt schrittweise, zunächst durch Korrelations- und Regressionsanalysen und anschließend durch die Erstellung von generalisierten gemischten linearen Modellen (GLMM).

Im Folgenden werden exemplarisch für die untersuchten Milchkuhställe die Ergebnisse der Korrelations-, Regressions- und GLMM-Analyse für den EmiDaT-Datensatz (Milchkuhställe) präsentiert.

3.5.1 Zusammenfassung von Einzelmesswerten zu aggregierten Messwerten

Die Einzelmesswerte wurden vor der weiteren Verwendung in der Datenanalyse zu Stundenmittelwerten aggregiert. Die Aggregation auf Stundenmittelwerte ist dahingehend sinnvoll, da die Tracergasbildungsrate von CO₂ im Stall durch Nutztiere und Güllelagerung als natürlicher Tracer auf Stundenbasis berechnet wird (Pedersen et al. 2008, VERA 2018). Auch bei der Verwendung von SF₆ als Tracergas für Emissionsmessungen in Mastschweinställen mit oder ohne Auslauf ist es sinnvoll, die Emissionsraten auf Stundenwerte zu aggregieren, da die SF₆-Abgabe durch die Dosierkapillaren aus den Druckgaszylindern variieren kann.

Daher bieten Stundenmittelwerte auf Einzelmesswertbasis robustere Kennzahlen für die Emissionsraten. Die Stundenmittelwerte werden im Folgenden immer auf Jahreswerte hochgerechnet (Stundenmittelwert multipliziert mit 8.760) und die NH₃- und CH₄-Emissionen für die Stundenmittelwerte in den Einheiten kg NH₃-N a⁻¹ bzw. kg CH₄ a⁻¹ angegeben. Hiermit sind noch keine weitergehenden statistischen Auswertungen verbunden, die berechneten Stundenmittelwerte sind allerdings die Basis für weitere statistische Analysen.

Die Ergebnisse der Datenreduktion bedingt durch die Bildung von Stundenmittelwerten aus Einzelmesswerten für NH₃- und CH₄-Emissionsmesswerte sind exemplarisch für die untersuchten Milchkuhställe der Tabelle 2 und Tabelle 3 zu entnehmen. Die Daten sind gruppiert, sowohl nach der Beschaffenheit des Stallbodens (planbefestigt ≙ floor_closed oder Spaltenboden ≙ floor_slatted) als auch nach dem Ort der Güllelagerung (im Stall ≙ in oder außerhalb des Stalls ≙ out).

Tabelle 2: Anzahl von Datensätzen und statistische Parameter für NH₃-N-Emissionsraten basierend auf Einzelmesswerten sowie aggregiert zu Stundenmittelwerten (Bezugseinheit: kg NH₃-N Milchkuh⁻¹a⁻¹). Gruppierung der Daten nach Beschaffenheit des Stallbodens (planbefestigt ≙ floor_closed; Spaltenboden ≙ floor_slatted) und Ort der Güllelagerung (im Stall ≙ in; außerhalb des Stalls ≙ out).

Gruppierung	Anzahl n	Mittelwert	Median	Standard- Fehler	Unteres 95 %- Konfidenzintervall	Oberes 95 %- Konfidenzintervall
NH ₃ -N-Emissionsrate in kg NH ₃ -N Milchkuh ⁻¹ a ⁻¹						
Stundenmittelwert						
floor_closed, out	3.059	13,3	13,0	0,1	13,1	13,6
floor_slatted						
in	2.834	10,4	8,4	0,1	10,1	10,7
out	2.239	8,8	7,6	0,1	8,5	9,1
Einzelmesswert						
floor_closed, out	8.502	13,4	12,9	0,1	13,2	13,5
floor_slatted						
in	11.416	10,0	8,5	0,1	9,8	10,1
out	6.645	9,1	8,0	0,1	9,0	9,3

Tabelle 3: Anzahl von Datensätzen und statistische Parameter für CH₄-Emissionsraten basierend auf Einzelmesswerten sowie aggregiert zu Tagesmittelwerten (Bezugseinheit: kg CH₄ Milchkuh⁻¹a⁻¹). Gruppierung der Daten nach Beschaffenheit des Stallbodens (planbefestigt \triangleq floor_closed; Spaltenboden \triangleq floor_slatted) und Ort der Güllelagerung (im Stall \triangleq in; außerhalb des Stalls \triangleq out).

Gruppierung	Anzahl n	Mittelwert	Median	Standard- Fehler	Unteres 95 %- Konfidenzintervall	Oberes 95 %- Konfidenzintervall
CH ₄ -Emissionsrate in kg CH ₄ Milchkuh ⁻¹ a ⁻¹						
Tagesmittel						
floor_closed, out	230	137,5	141,5	1,6	134,3	140,7
floor_slatted						
in	230	308,3	275,1	7,9	292,8	323,8
out	174	151,3	140,8	2,5	146,4	156,2

3.5.2 Statistische Auswertungen

Korrelationsanalysen

Der Zusammenhang zwischen den NH₃-N-Emissionsraten und möglichen Einflussvariablen wurde im ersten Schritt durch Korrelationsanalysen überprüft. Es wurden dabei folgende Einflussvariablen berücksichtigt: Temperatur innen/außen, Luftfeuchte innen/außen, Windgeschwindigkeit außen, Milchwahnhstoffgehalt der Tankmilch, Milchleistung, Lauffläche pro Tier, Abschiebehäufigkeit, Abstand der Gülle zur Stallbodenoberfläche.

Die abhängige Variable NH₃-N-Emission wurde logarithmisch transformiert (log₁₀), um die Annahme homoskedastischer Residuen zu erfüllen. Zudem wurde die Variable NH₃-N-Emission auf die Einheit Großvieheinheit pro Jahr normiert. Diese Bezeichnungen definieren eine standardisierte Einheit zur Messung der Tierbestände auf Basis der Lebendmasse, wobei der Schwerpunkt auf dem Vergleich innerhalb derselben Tierarten liegt. Tabelle 4 zeigt die jeweiligen Korrelationskoeffizienten (nach Pearson) für die Korrelationen der aufgeführten Variablen mit der abhängigen Variablen NH₃-N-Emission.

Tabelle 4: Korrelationskoeffizienten nach Pearson der aufgeführten Variablen mit den NH₃-N-Emissionen pro Großvieheinheit (kg a⁻¹) gruppiert nach Ort der Güllelagerung (innen oder außen)

Variable	Einheit	Ort der Güllelagerung	
		innen	außen
Temperatur, innen	°C	0,050	0,095
Temperatur, außen	°C	0,063	0,158
Relative Luftfeuchte, innen	%	0,115	0,006
Relative Luftfeuchte, außen	%	-0,122	-0,083
Windgeschwindigkeit, außen	m s ⁻¹	-0,117	0,173
Milchwahnhstoffgehalt in 100 ml Milch	mg	0,028	0,284
Mittlere energiekorrigierte Milchleistung je Milchkuh	kg a ⁻¹	-0,398	0,237
Lauffläche pro Tier	m ²	-0,216	0,332
Abschiebefrequenz	n d ⁻¹	0,540	0,405
Abstand Gülle von Laufflächenoberfläche	m	0,324	0,331

In Abbildung 4 sind die Datenpaare für einige der oben genannten Variablen versus $\text{NH}_3\text{-N}$ -Emissionen grafisch als Punktdiagramme dargestellt. Da multiple Zusammenhänge zwischen den Wertepaaren zu erwarten sind, wurden ergänzend multiple Regressionsanalysen durchgeführt.

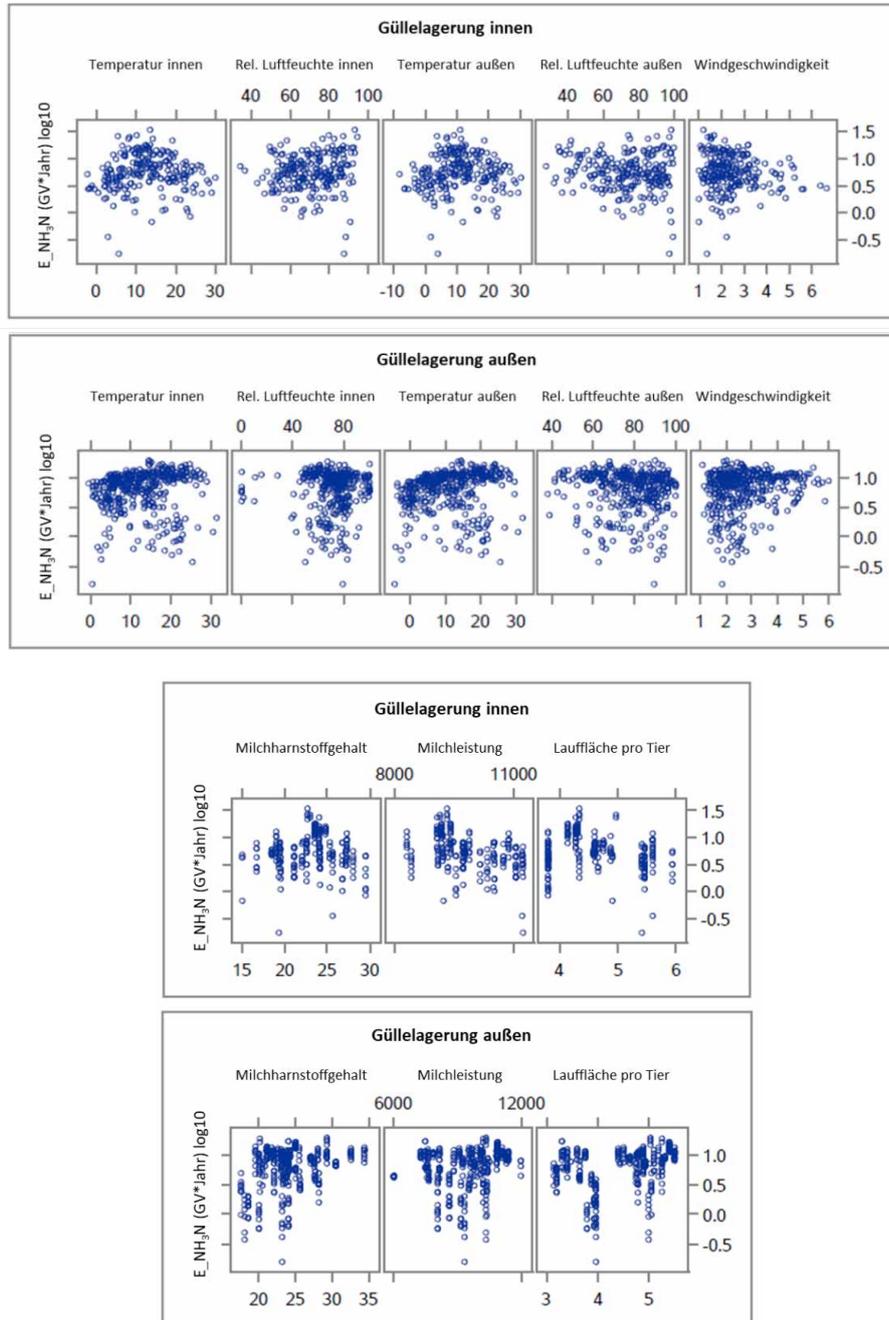


Abbildung 4: Punktdiagramme zwischen $\text{NH}_3\text{-N}$ -Emissionsraten (Ordinate) und ausgewählten Variablen (Abszisse) gruppiert nach Ort der Güllelagerung. Die Variablen sind in folgenden Einheiten in den Diagrammen abgebildet: Temperatur in $^{\circ}\text{C}$, relative Luftfeuchte in %, Windgeschwindigkeit in m s^{-1} , Milchharnstoffgehalt in $\text{mg } 100 \text{ ml Milch}^{-1}$, Milchleistung in $\text{kg fett- und proteinkorrigierte Milch a}^{-1} \text{ Milchkuh}^{-1}$, Lauffläche pro Tier in m^2 , $\text{NH}_3\text{-N}$ -Emissionsrate ($\text{E_NH}_3\text{-N}$) in $\text{kg NH}_3\text{-N GV}^{-1} \text{ a}^{-1}$. (© KTBL)

Regressionsanalysen und gemischte lineare Modelle

Um den Einfluss der unabhängigen quantitativen Variablen wie Wetterdaten (z. B. Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit), Leistungsdaten der Tiere (z. B. Milchmenge pro Jahr, Milchwahnharnstoffgehalt) und Managementdaten (z. B. Reinigungshäufigkeit des Stallbodens) auf die abhängigen quantitativen Variablen (z. B. NH₃-N Emissionsrate) abzuschätzen, wurden multiple Regressionsanalysen durchgeführt.

Die statistische Regressionsanalyse (ohne Berücksichtigung der hierarchischen Struktur der Untersuchung, d. h. zufällige und fixe Effekte und Autokorrelationen in Folge von Messwertwiederholung) wurde auf der Zeiteinheit „Tag“ durchgeführt. Für die Messtage wurden Mittelwerte aus den Einzelmesswerten je Tag berechnet. Unter anderem wurden Mittelwerte für die Variablen Lufttemperatur (außen, im Stall), Windgeschwindigkeit (außen, im Stall), relative Luftfeuchtigkeit (außen, im Stall), Luftdruck, Reinigungshäufigkeit des Stallbodens, Abstand der Gülle von der Stallbodenoberfläche, Lauffläche je Tier und Tankmilchwahnharnstoffgehalt berechnet. Es erfolgte keine Imputation (fehlende Werte durch Mittelwert, Median oder Ähnliches ersetzen) fehlender Werte. Die Auswertung erfolgte auf der Datenbasis von zwölf Milchkuhbetrieben.

Kollinearität der in die Regressionsgleichung verwendeten Variablen wurde zunächst auf der Grundlage von Scatter-Plot-Diagrammen untersucht, um unkorrelierte erklärende Variablen auszuwählen. Zudem wurde als Maß für die Multikollinearität der Varianz-Inflations-Faktor (VIF) verwendet. Die unten aufgeführten Modelle wurden auf Basis der „backward“-Methode (Abwärtsauswahlmethode) ausgewählt. Als Auswahlkriterien für die Modelle dienten Akaike- und Bayes'sche Informationskriterien. Alle Analysen wurden mit dem Statistical Analysis Software System (Version 9.4; SAS Institute, Cary, NC) durchgeführt.

Die Zielvariable NH₃-N-Emission wurde einer logarithmischen Transformation (log₁₀) unterzogen, um die Annahme homoskedastischer Residuen zu erfüllen. Zur Überprüfung der Modellannahmen wurde eine grafische Residuenanalyse verwendet. Zudem wurde die Zielvariable NH₃-N-Emission auf die Einheit Großvieheinheit (GV \cong 500 kg Lebendmasse) pro Jahr normiert.

Nachfolgend sind die ausgewählten Regressionsgleichungen (Gleichung 2 und 3), differenziert nach dem Ort der Güllelagerung, aufgeführt. Alle in den beiden Gleichungen aufgeführten Parameter haben einen signifikanten Einfluss auf die Höhe der Emissionsraten.

Ausgewähltes Modell für die Gruppierungsvariable „Güllelagerung außerhalb des Stalls“

$$\begin{aligned} \text{ENH}_3\text{N_LU_Y_LG} = & -0,510499 + 0,003018 \cdot \text{RHout} + 0,063112 \cdot \text{WSout} + \\ & 0,011999 \cdot \text{HGM} + 0,085859 \cdot \text{WAA} + 0,011836 \cdot \text{SCRAP} - \\ & 2,442 \cdot 10^{-6} \cdot \text{Tout} \cdot \text{MIY} + 0,00123 \cdot \text{Tout} \cdot \text{HGM} \end{aligned} \quad (\text{Gl. 2})$$

$$\text{ENH}_3\text{N_LU_Y} = \text{INV log}_{10} (\text{ENH}_3\text{N_LU_Y_LG})$$

$$\text{Korrigierte } R^2 = 0,3078$$

(Abkürzungen siehe nächste Seite)

Ausgewähltes Modell für die Gruppierungsvariable „Güllelagerung im Stallgebäude“

$$\text{ENH}_3\text{N_LU_Y_LG} = -1,65715 - 0,036877 \cdot \text{RHout} + 0,049597 \cdot \text{WSout} + 0,076772 \cdot \text{HGM} + 0,061359 \cdot \text{WAA} + 0,233589 \cdot \text{SCRAP} + 8,386 \cdot 10^{-6} \cdot \text{ASAP} - 0,00216 \cdot \text{Tout} \cdot \text{MIY} - 1,65715 \cdot \text{Tout} \cdot \text{HGM} \quad (\text{Gl. 3})$$

$$\text{ENH}_3\text{N_LU_Y} = \text{INV log}_{10} (\text{ENH}_3\text{N_LU_Y_LG})$$

$$\text{Korrigierte } R^2 = 0,4845$$

Intercept	=	Achsenabschnitt
RHout	=	relative Luftfeuchte, außen, in 2 m Höhe (%)
WSout	=	Windgeschwindigkeit, außen, in 2 m Höhe (m s^{-1})
HGM	=	Tankmilchharnstoffgehalt (mg dl^{-1})
MIY	=	fett- und proteinkorrigierte Milchmenge (305 Tage) je Milchkuh und Jahr (kg a^{-1})
WAA	=	Lauffläche je Tier (m^2)
SCRAP	=	Reinigungshäufigkeit mit Schieber oder Roboter bezogen je Tier (m^2)
ASAP	=	Abstand der Gülle von Stallbodenoberfläche (nur Modell „Lagerung im Stallgebäude“) (m)
Tout	=	Lufttemperatur, außen, in 2 m Höhe ($^{\circ}\text{C}$)
LU	=	Livestock Unit = 500 kg Lebendmasse = Großvieheinheit
$\text{ENH}_3\text{N_LU_Y_LG}$	=	\log_{10} -transformierte NH_3 -N-Emissionsrate je LU (kg a^{-1})
$\text{ENH}_3\text{N_LU_Y}$	=	NH_3 -N-Emissionsrate je LU (kg a^{-1})
INV log_{10}	=	Kehrwert des \log_{10}

3.5.3 Temperaturnormierung und nachfolgende Gruppenvergleichsanalyse

Sowohl die multiplen Regressionen als auch die generalisierten gemischten linearen Modelle ergaben keine sinnvollen Zusammenhänge zwischen den Emissionsraten und den allgemein bekannten Einflussfaktoren (Temperatur, Lauffläche, Milchleistung etc.). Daher wurde ein anderes Verfahren gewählt, um Jahreswerte für die untersuchten Ställe zu berechnen.

Die Ergebnisse der Einzelmesszeitpunkte wurden zunächst zu arithmetischen Stundenmittelwerten aggregiert. Zur Berechnung der jährlichen Emissionsraten erfolgte dann eine Gewichtung der Stundenmittelmesswerte basierend auf der Häufigkeit der mittleren langjährigen stündlichen Durchschnittstemperaturwerte aller untersuchten Ställe der jeweils nahegelegenen Wetterstation (DWD 2020). Die Temperaturnormierung erfolgte mit 1-Grad-Klassen für den Temperaturbereich von -4 bis 35 $^{\circ}\text{C}$. Temperaturwerte kleiner oder größer als der Temperaturbereich wurden der Temperaturklasse -4 $^{\circ}\text{C}$ bzw. 35 $^{\circ}\text{C}$ zugeordnet.

Die temperaturgewichteten Jahresmittelwerte der NH_3 -Emissionsraten der untersuchten Milchkuhställe wurden dann in die Varianten „Keller“, „Plan“ und „Spalte“ gruppiert (Kapitel 4.5). In gleicher Form wurden auch die CH_4 -Emissionsraten gruppiert (Kapitel 4.6).

Für die untersuchten Mastschweinställe erfolgte ergänzend eine Gewichtung der berechneten NH_3 -Emissionsraten auf Grundlage einer mittleren Lebendmasse von 67 kg, basierend auf einer sigmoidalen Wachstumskurve für die Mastperiode. Des Weiteren wurden bei der Berechnung der jährlichen Emissionsraten die unterschiedlichen Belegungszeiten in den Ställen berücksichtigt. Hierbei wurde zwischen dem Rein-Raus-Mastverfahren (All-in-all-out-System) und dem kontinuierlichen Mastverfahren differenziert (Tabelle 20, Tabelle 21). Diese Differenzierung ermöglichte eine proportionale Einbeziehung der jeweiligen Verfahren in die Berechnung, was zu einer genaueren Abschätzung der Jahresemissionsraten führte. Die ermittelten NH_3 -Emissionsraten aus dem Auslauf wurden für das gesamte Haltungsverfahren „Stall mit

Auslauf“ verwendet. Die temperaturgewichteten Jahresmittelwerte der NH_3 -Emissionsraten der jeweiligen Mastschweineeställe wurden in die Varianten „Plan“ und „Spalte“ gruppiert (Kapitel 8.5).

Signifikante Unterschiede zwischen den Varianten wurden durch eine Varianzanalyse geprüft, wobei ein Signifikanzniveau (Fehler 1. Art) von 0,05 verwendet wurde. Anschließend erfolgte ein Tukey-Test (für Milchkühställe, $\alpha = 0,05$) bzw. ein einfacher t-Test (für Mastschweineeställe, $\alpha = 0,05$) zur weiteren Überprüfung auf statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Varianten.

3.6 Verwendete Bezugsbasen und ergänzende Angaben

Die Basisbezugseinheit für die Emissionsraten ist Masseneinheit je Jahr. Zur detaillierteren Spezifizierung der Emissionsrate werden die Masseneinheiten je Jahr in Verbindung mit weiteren Bezugselemente wie Stall ($\text{kg NH}_3\text{-N GV}^{-1} \text{ a}^{-1}$), Tier ($\text{kg NH}_3\text{-N Tier}^{-1} \text{ a}^{-1}$), Lebendmasse (kg), Lauffläche (m^2) angegeben. Darüber hinaus werden zusätzlich die Leistungsdaten der Tiere angegeben, wie Milchleistung pro Jahr und Milchkuh, durchschnittliche Lebendgewicht der Milchkühe und bei Mastschweinen der Lebendmassezunahme in Gramm pro Tag und Mastschwein usw.

4 Milchkuhbetriebe ohne Weidehaltung

4.1 Auswahl der Betriebe

Für die Auswahl geeigneter Liegeboxenlaufställen wurde eine Liste mit den wichtigsten zu erfüllenden Kriterien erstellt. Diese Kriterien umfassten:

- freie Anströmung des Stallgebäudes – idealerweise quer zur Hauptwindrichtung
- keine weiteren relevanten Emissionsquellen (NH_3 , CO_2 , CH_4 , N_2O , Gerüche) in der näheren Umgebung (geringe Hintergrundbelastung)
- Bodengestaltung der Laufgänge
- Alter des Stallgebäudes (möglichst nicht älter als 10 Jahre)
- Größe oder Tierplatzzahl (Gebäudedimensionen müssen messbar bleiben)

Bei der Auswahl wurde dem Punkt „freie Anströmung des Stallgebäudes“ höchste Priorität eingeräumt, da eine freie An- und Durchströmung des Stallgebäudes Voraussetzung für die im Projekt angewandte Messmethodik (Tracer-Ratio-Methode) darstellt (siehe Kapitel 3.1.1). Dies setzt voraus, dass das zu messende Stallgebäude nicht von Strömungsbarrieren, z. B. andere Gebäude, Baumreihen oder Hecken, umgeben ist. Standorte mit Vorbelastung beispielsweise durch andere Stall- oder Biogasanlagen in der näheren Umgebung wurden ebenfalls nicht berücksichtigt.

Die Betriebsuche erfolgte über Pressemitteilungen, direkte Ansprache von Beraterinnen und Beratern, das KTBL-Netzwerk und über soziale Medien (Facebook und Twitter). Insgesamt wurden mehr als 200 Betriebsadressen rückgemeldet. Die Prüfung bezüglich Eignung der Betriebe erfolgte über einen mehrstufigen Prozess. Als erstes wurde, wenn möglich, auf Luftbildern die Lage des Stallgebäudes erfasst, wodurch das Kriterium der freien Anströmbarkeit geprüft werden konnte. In einem zweiten Schritt wurden detaillierte Informationen zum Stallgebäude und zum Betrieb auf Basis eines Fragebogens erfasst. Basierend auf den oben genannten Schritten erfolgte eine vorläufige Einschätzung der Eignung. Daran anschließend erfolgte eine Bereisung der vorausgewählten Betriebe (30 Milchkuhbetriebe).

Die im EmiDaT-Messprogramm untersuchten Liegeboxenlaufställe unterschieden sich zum einen in der Bodengestaltung des Laufgangs und zum anderen im Ort der Güllelagerung (im Stall oder außerhalb des Stalls). Die Betriebe wurden den folgenden drei Varianten zur Dungbeseitigung zugeordnet:

- **Keller**
Milchkuhställe mit perforiertem Laufgang (Spaltenboden) und Güllekeller unter den Spalten. Das Speicher-Zirkulationsverfahren, auch bekannt als Slalomverfahren oder Slalomsystem, ist ein Verfahren, bei dem Gülle in einem speziellen Kanalsystem gespeichert und zirkuliert wird, um eine gleichmäßige Durchmischung und Verteilung zu gewährleisten.
- **Plan**
Milchkuhställe mit planbefestigtem Laufgang und Güllelagerung außerhalb des Gebäudes. In planbefestigten Ställen erfolgt die Dungbeseitigung mittels Flachschiebern, die für die Reinigung der Laufflächen eingesetzt werden. Diese Schieber werden mehrmals täglich entlang von Schienen oder Führungswegen über den Stallboden bewegt. Dabei sammeln sie Exkremente und Einstreu und transportieren diese effizient in Richtung eines Sammelbereichs oder einer Güllegrube.

■ Spalte

Milchkuhställe mit perforiertem Laufgang (Spaltenboden) und Güllelagerung außerhalb des Gebäudes. Unter Fließkanalentmischung, auch bekannt als „Schwerkraftentmischung“ oder „Treibmistverfahren“, versteht man das kontinuierliche Abfließen von Gülle in einem Kanal. Dabei bildet sich über einer Flüssigkeitsschicht ein schräger Dungstau, der durch hydrostatischen Druck und Schubspannung den Fließvorgang auslöst. Die optimale Funktion dieses Systems erfordert eine genaue Abstimmung von Kanaltiefe und -länge sowie die Aufrechterhaltung der Flüssigkeitsschicht.

Es wurden jeweils vier Ställe dieser Varianten untersucht. In Abbildung 5 sind die über Deutschland verteilten Standorte aufgeführt. Es konnten von der Nordseeküste bis nach Oberbayern Betriebe gefunden werden. Lediglich in den östlichen Bundesländern konnte aufgrund der Größe nur ein Betrieb in die Untersuchungen einbezogen werden.

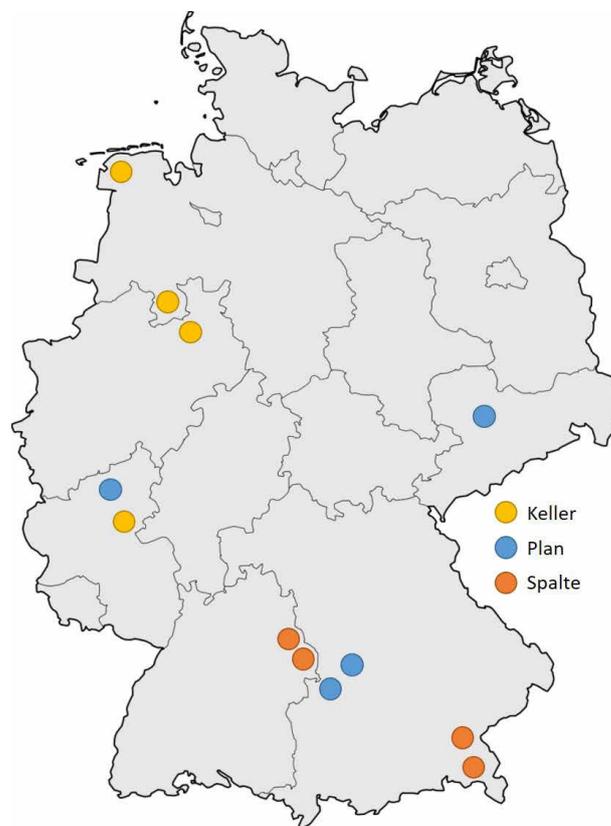


Abbildung 5: Standorte der zwölf untersuchten Milchviehbetriebe (© KTBL)

4.2 Standortbeschreibungen

In Tabelle 5 bis Tabelle 7 sind die wesentlichen Merkmale der Betriebe nach Variante (Keller, Plan, Spalte) aufgeführt. Die aufgeführten Werte sind arithmetische Mittel über die Untersuchungswochen. Eine detailliertere Darstellung der einzelnen Betriebe und der Messwochen kann der Zusammenfassung im [Anhang 7](#) entnommen werden.

Die Belegungsrate der genehmigten Tierplätze betrug im Mittel der Betriebe 100% (Spannweite 83–117%).

Tabelle 5: Betriebsspezifische Merkmale der untersuchten Milchkuhställe Variante „Keller“

Merkmal	Bezugseinheit	Variante „Keller“			
		Betrieb			
		1	2	3	4
Gebäude und Tiere					
Baujahr	-	2013	2014	2014	2013
Stallfläche	m ²	1.044	1.444	1.060	2.310
Anzahl Tierplätze	n	150	120	90	140
Lauffläche pro Tierplatz ¹⁾	m ²	4,7	4,8	3,8	5,5
Rasse	-	HF-Schwarz- und Rotbunt	HF-Schwarzbunt	HF-Schwarz- und Rotbunt	HF-Schwarz- und Rotbunt
Milchleistung	kg ECM a ⁻¹	9.540	9.022	9.780	10.858
Management und Gülle					
Art der Laufflächen- reinigung	-	Entmistungs- roboter	Entmistungs- roboter mit Sprühvorrichtung	Entmistungs- roboter	Entmistungs- roboter
Häufigkeit der Lauf- flächenreinigung	n d ⁻¹	16	16	7	6
Oberfläche Güllekanal	m ²	794	766	730	964
Tiefe Güllekanal	m	2,0	2,0	2,2	2,0
Entmistungsverfahren	-	Slalomsystem	Slalomsystem	Slalomsystem	Slalomsystem
Melken und Futter					
Melksystem	-	Melkroboter	Melkroboter	Melkroboter	Melkroboter
Futtergrundlage	-	Grassilage, Mais- silage, MLF	Gras-, Maissilage TMR, MLF	Gras-, Maissilage TMR, MLF	Gras-, Maissilage TMR, MLF

HF = Holstein Friesian ECM = fett- und eiweißkorrigiert MLF = Milchleistungsfutter TMR = totale Mischration

¹⁾ Mittelwert über alle Messwochen (MW).

Tabelle 6: Betriebsspezifische Merkmale der untersuchten Milchkuhställe Variante „Plan“

Merkmal	Bezugseinheit	Variante „Plan“			
		Betrieb			
		1	2	3	4
Gebäude und Tiere					
Baujahr	-	2004	2011	2015	2013
Stallfläche	m ²	1.400	2.257	1.500	3.384
Anzahl Tierplätze	n	90	180	140	300
Lauffläche pro Tierplatz ¹⁾	m ²	3,9	4,9	4,1	5,4
Rasse	-	Fleckvieh	Fleckvieh	HF-Schwarz- und Rotbunt	HF-Schwarzbunt
Milchleistung	kg ECM a ⁻¹	7.559	9.402	10.568	11.052
Management und Gülle					
Art der Laufflächen- reinigung	-	Schieber	Schieber	Schieber	Schieber
Häufigkeit der Lauf- flächenreinigung	n d ⁻¹	9–12	16	24	24
Melken und Futter					
Melksystem	-	Melkstand	Roboter	Roboter	Roboter
Futtergrundlage	-	Maissilage, Grassilage, MLF, Stroh, Getreide	Maissilage, Grassilage, Stroh, MLF	Maissilage, Grassilage, MLF	Mais-, Grassilage, Rapsextraktions- schrot

HF = Holstein Friesian ECM = fett- und eiweißkorrigiert MLF = Milchleistungsfutter

¹⁾ Mittelwert über alle Messwochen (MW).

Tabelle 7: Betriebsspezifische Merkmale der untersuchten Milchkühställe Variante „Spalte“

Merkmal	Bezugseinheit	Variante „Spalte“			
		Betrieb			
		1	2	3	4
Gebäude und Tiere					
Baujahr	-	2004	2010	2012	2001
Stallfläche	m ²	1.010	975	2.180	1.417
Anzahl Tierplätze	n	94	80	164	82
Lauffläche pro Tierplatz ¹⁾	m ²	3,3	3,9	4,9	3,7
Rasse	-	Fleckvieh	Fleckvieh	HF-Schwarzbunt	Fleckvieh
Milchleistung	kg ECM a ⁻¹	7.799	8.984	10.033	8.423
Management und Gülle					
Art der Laufflächenreinigung	-	(Hof-)Traktor	(Hof-)Traktor	Entmistungsroboter mit Sprühvorrichtung	Entmistungsroboter
Häufigkeit der Laufflächenreinigung	n d ⁻¹	2	1	8	8–12
Oberfläche Güllekanal	m ²	293	341	959	286
Tiefe Güllekanal	m	1,4	1,3	1,8	1,3
Entmistungsverfahren	-	Schwemmkanal	Treibmistverfahren	Treibmistverfahren	Schwemmkanal
Melken und Futter					
Melksystem	-	Melkstand	Melkroboter	Melkroboter	Melkroboter
Futtergrundlage	-	Mais-, Grassilage, Heu, MLF	Grassilage, Maissilage, Heu, Stroh, MLF	Grassilage, Maissilage, TMR	Grassilage, Maissilage, MLF

HF = Holstein Friesian ECM = fett- und eiweißkorrigiert MLF = Milchleistungsfutter TMR = totale Mischration
¹⁾ Mittelwert über alle Messwochen (MW).

4.3 Messaufbau

In jedem untersuchten Stall wurde eine mit Lufteinlassstellen versehene Gassammelleitung im Stallinneren zur Probennahme installiert. Da an den Einlassstellen jeweils gleiche Luftvolumina angesaugt wurden, ermöglichte dies am Ende der Sammelleitung im Sammelbehälter die Entnahme einer Mischprobe. Die Sammelleitung bestand aus zwei Messleitungen an den Innenraumlängsseiten des Gebäudes. Die Sammelleitung wurde im Stallinnenraum in einer Höhe von ca. 2,5 m angebracht, meistens oberhalb der Fressgitter am Futtertisch (Abbildung 6). Zur Erfassung der Hintergrundkonzentrationen der einströmenden Luft wurden zudem bei den Messställen zwei Außenmesspunkte (A1, A2) zur Luftprobennahme mit einem Abstand von jeweils ca. 2,5 m von den Stallaußenwänden installiert. Für die Gasprobennahme wurden Sammelleitung und Außenmesspunkte nacheinander in zeitlicher Abfolge angesteuert, Gasproben entnommen und diese dem FTIR-Messgerät zur Analyse zugeführt. In der Regel konnten somit mindestens fünf Messwerte pro Stunde für die Gaskonzentration in der Innen- und Außenluft (Hintergrund) erfasst werden.

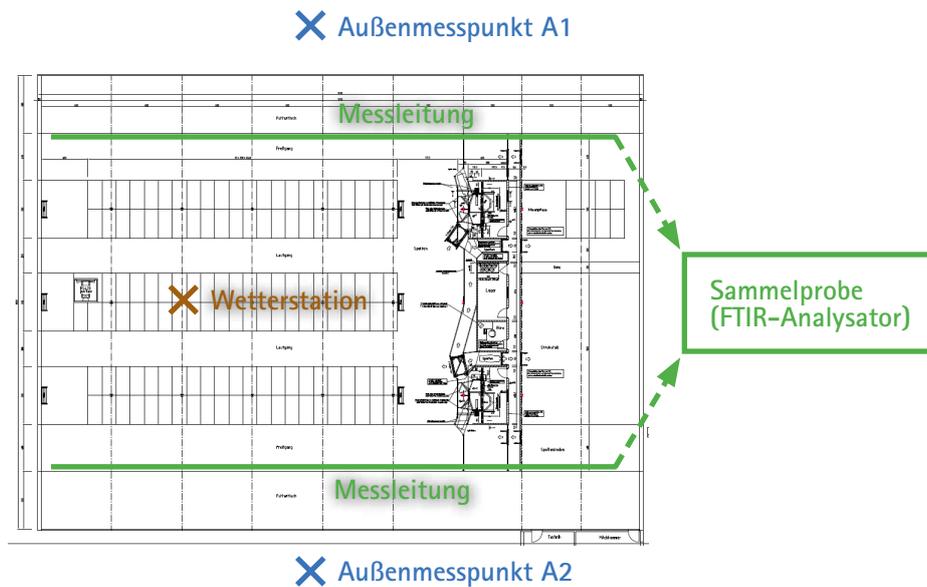


Abbildung 6: Schematische Darstellung des Messaufbaus zur Entnahme von Gasproben, Bestimmung der Gaskonzentration und Erfassung meteorologischer Daten an einem Milchkuhstall. Der Aufbau umfasst eine Gassammelleitung (innen), externe Gasprobennahmestellen und eine interne Wetterstation. (© KTBL)

Die aufgeführten meteorologischen Messgrößen im Außenbereich wurden über eine Wetterstation in ca. 100 m Entfernung vom Stall in einer Höhe von 10 m erhoben. Im Stallgebäude war eine weitere Messstation zur Erfassung von Temperatur und Luftfeuchte installiert. Folgende Messgrößen wurden an den Wetterstationen erhoben:

- Lufttemperatur in °C
- Windrichtung in Grad
- Windgeschwindigkeit in ms^{-1}
- Relative Luftfeuchte in %
- Luftdruck in hPa
- Niederschlag in mm
- Solarstrahlung in W m^{-2}

In der Nähe der Ställe wurden bis zu maximal 200 m Entfernung außerdem zwei Passivsammler platziert, um die Hintergrundkonzentrationen von NH_3 in der Luft zu bestimmen. Die Expositionszeit der Passivsammler belief sich jeweils auf eine Woche, wobei an jedem Probennahmepunkt eine Doppelbeprobung durchgeführt wurde.

4.4 Erfassung weiterer Messgrößen und Betriebsinformationen

Neben der Ermittlung von Gaskonzentrationen wurden weitere Daten erfasst, die für die Berechnung der Ventilationsraten, den Bezugsgrößen und für die Interpretation der Messdaten erforderlich sind.

4.4.1 Tierbezogene Daten

Betriebliche tierbezogene Daten wurden in jedem Messzeitraum für folgende Merkmale erfasst:

- Anzahl Milchkühe im Stallgebäude (laktierende Tiere und ggf. Trockensteher): Zählung in jeder Messwoche
- Lebendmasse der Tiere: Wiegen, Schätzung mit Viehmaßband, Schätzung durch Betriebsleiter
- Trächtigkeitstag: Herdenmanagementplaner, Schätzung durch Betriebsleiter
- Milchleistung (siehe [Anhang 5](#)): Daten der Milchleistungsprüfung
- Proteingehalt Milch (siehe [Anhang 5](#)): Daten der Milchleistungsprüfung
- Fettgehalt Milch (siehe [Anhang 5](#)): Daten der Milchleistungsprüfung
- Milchwasserstoffgehalt (siehe [Anhang 5](#)): Daten der Milchleistungsprüfung
- Lauffläche je Tier (siehe [Anhang 7](#)): Berechnung aus Tierzahl und Lauffläche (nach Stallplan)

4.4.2 Daten zu baulichen Gegebenheiten und Betriebsmanagement

Zur Charakterisierung der baulichen Gestaltung der untersuchten Milchkuhställe wurden folgende Merkmale erhoben:

- Geografische Daten: Gebäudeausrichtung, Geokoordinaten, Hauptwindrichtung
- Bauausführung: Fassaden, Dach, Wärmedämmung
- Flächen im Stall: Bodengestaltung, Grundfläche, Lauffläche, Liegefläche, Fläche des Wartebereichs
- Lauffläche: Bodenbelag, Gefälle, Harnrinne
- Liegeplatz: Liegeflächengestaltung, Einstreu
- Güllekanäle: Maße, Entmistungsverfahren

Die detaillierte Darstellung für jeden Standort sind den Beschreibungen im [Anhang 7](#) zu entnehmen.

Betriebliche Aktivitäten hinsichtlich Futter-, Bodenreinigungs- und Güllemanagement sowie Bonitierungen wurden in jeder Messwoche dokumentiert (Tabelle 8). Die Untersuchung der Grundfutterproben und Gülleproben erfolgte exemplarisch an drei Messterminen. Die Ergebnisse der Analysen sind im [Anhang 5](#) dokumentiert.

Das Homogenisieren der Gülle fand nur bei den Betrieben der Variante „Keller“ statt. Dieser Vorgang erfolgte in der Regel einmal wöchentlich zu einem festen Termin.

Tabelle 8: Liste der dokumentierten betrieblichen Aktivitätsmerkmale sowie Bonitierungen und chemischen Untersuchungen

Merkmalsgruppe	Merkmal
Melken	Melkzeiten
Futtermanagement	Futterart Futtermenge Fütterungszeiten Nachschiebezeiten
Futteranalysen	Raufutter ¹⁾ Milchleistungsfutter
Boden	Abschiebefrequenz des Schiebers oder Reinigungsfrequenz des Entmistungsroboters Oberflächenverschmutzung der Laufgänge Temperatur Bodenoberfläche
Gülle	Füllstand des Güllekanals Gülleinhaltsstoffe ¹⁾
Lüftung und Klimatisierung	Öffnungsgrad der Curtains (oder anderer Lüftungseinrichtungen)

¹⁾ Siehe [Anhang 4](#) und [5](#).

Die Bonitur der Oberflächenverschmutzung der Laufgänge erfolgte semiquantitativ anhand von fünf Verschmutzungskategorien nach Schrade et al. (2011). Die Oberflächenverschmutzung wurde während einer Messwoche an einem Tag zu drei Zeitpunkten vor der Reinigung gemessen. Hierbei wurde in jedem Durchgang zufällig ein Quadratmeter ausgewählt und der Verschmutzungsgrad für diese Fläche erfasst. Die Positionen dieser Quadratmeter blieben über alle Messzeiträume konstant.

4.5 Ergebnisse Ammoniak-Emissionsraten

In Abbildung 7 sind die Stundenmittelwerte der Ammoniakemissionen, hochgerechnet auf Jahreswerte, für alle Betriebe und alle Messzeiträume dargestellt. Es ist zu beachten, dass diese Stundenmittelwerte signifikanten Schwankungen unterliegen, die maßgeblich auf die variierenden Randbedingungen, wie unterschiedliche Witterungsbedingungen und betriebspezifisches Management zurückzuführen sind. Diese Variabilität ist ein erwartetes Ergebnis und spiegelt die realen Umstände wider, unter denen die Messungen durchgeführt wurden. Im [Anhang 7](#) sind die Ammoniak-Emissionsraten je Betrieb und Messperiode dargestellt.

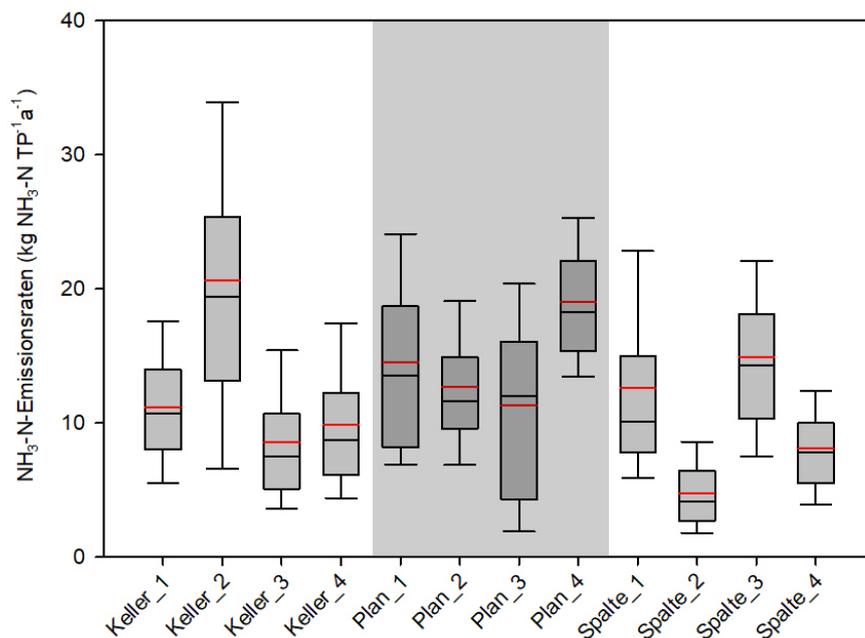


Abbildung 7: Ammoniak-Emissionsraten (kg NH₃-N TP⁻¹ a⁻¹) der Betriebe der untersuchten Varianten „Keller“, „Plan“ und „Spalte“ berechnet auf Basis von ungewichteten Stundenmittelwerten. Die rote und die schwarze Linie (innerhalb der Säulenelemente) kennzeichnen das arithmetische Mittel bzw. den Median (TP = Tierplatz). (© KTBL)

Berechnung von „Total Ammonical Nitrogen“ in den Ausscheidungen

Total Ammonical Nitrogen (TAN = NH₃-N + NH₄-N) bezeichnet den potenziell schnell in ammonikalen Stickstoff umsetzbaren Stickstoffanteil in den Ausscheidungen, das heißt, dies schließt auch Harnstoff in den Exkrementen ein. Die Berechnung der TAN-Menge in den Ausscheidungen erfolgte nach dem von KTBL (2014) vorgeschlagenen Verfahren. In diesem Kontext wird der aufgenommene Futterstickstoff, unter Berücksichtigung von Verdaulichkeit und tierischer Leistung, den über Harn und Kot ausgeschiedenen Stickstoffmengen in einem Stoffflussmodell zugeordnet.

Die Anteile von TAN in den Exkrementen variieren zwischen 5–20% im Kot und 60–95% im Harn, jeweils bezogen auf den Gesamtstickstoffgehalt. Unter Berücksichtigung dieser Anteile sowie des Fütterungsregimes und der tierischen Leistung lassen sich mittlere TAN-Gehalte in den Exkrementen für den Kuhbestand in den untersuchten Betrieben berechnen. Die durchschnittliche TAN-Ausscheidung in den untersuchten Betrieben lag bei etwa 70 kg TAN pro Tierplatz und Jahr ($\text{TP}^{-1} \text{a}^{-1}$).

In Tabelle 9 sind die verwendeten Bezugseinheiten und Bezugswerte aufgeführt. Wie zu entnehmen, kann bei Milchkühen von einer mittleren N-Ausscheidung von $128 \text{ kg TP}^{-1} \text{a}^{-1}$ ausgegangen werden.

Tabelle 9: Verwendete Bezugseinheiten und Bezugswerte für die Ergebnisse der Milchkuh-Liegeboxenlaufställe

Parameter	Bezugseinheit	Bezugswert
Mittlere Tiermasse Milchkuh	kg LM	675
Großvieheinheit (GV)	kg LM	500
1 Milchkuh = 1 Tierplatz (TP)	GV	1,35
Mittlere Milchleistung	kg Milch a^{-1}	9.418
Mittlere TAN-Menge in Exkrementen	kg TAN _{excr} $\text{TP}^{-1} \text{a}^{-1}$	70
Mittlere N-Ausscheidung	kg N $\text{TP}^{-1} \text{a}^{-1}$	128
Anzahl Betriebe	n	12
Mittlere Anzahl Großvieheinheiten	GV Betrieb^{-1}	182

Die berechneten mittleren temperaturgewichteten jährlichen NH_3 -Emissionsraten sind in Tabelle 10 aufgeführt. Die Emissionsraten betragen für die Variante „Keller“ $10,4 \text{ kg NH}_3\text{-N TP}^{-1} \text{a}^{-1}$, für die Variante „Plan“ $11,2 \text{ kg NH}_3\text{-N TP}^{-1} \text{a}^{-1}$ und für die Variante „Spalte“ $8,5 \text{ kg NH}_3\text{-N TP}^{-1} \text{a}^{-1}$. Zwischen den drei Varianten konnte kein statistisch signifikanter Unterschied für die gewichteten jährlichen NH_3 -Emissionsraten nachgewiesen werden (Tabelle 5). Der Mittelwert aus den drei Varianten beträgt $10,0 \text{ kg NH}_3\text{-N TP}^{-1} \text{a}^{-1}$ (Tabelle 11).

Tabelle 10: Temperaturgewichtete jährliche NH_3 -Emissionsraten der Untersuchungsvarianten „Keller“, „Plan“ und „Spalte“. Emissionsraten mit denselben Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant (t-Test, $p > 0,05$).

Variante	Emissionsrate in $\text{kg NH}_3\text{-N TP}^{-1} \text{a}^{-1}$
Keller	10,4 ^a
Plan	11,2 ^a
Spalte	8,5 ^a

Tabelle 11: Mittelwert, Standardabweichung und Median der temperaturgewichteten NH_3 -N-Emissionsraten und NH_3 -N-Emissionsfaktoren berechnet für die untersuchten Milchkuhställe („Keller“ + „Spalte“ + „Plan“; $n = 12$)

Parameter	$\text{NH}_3\text{-N}$ -Emissionsraten in kg a^{-1}		$\text{NH}_3\text{-N}$ -Emissionsfaktoren bezogen auf	
	je GV	je TP	TAN-Menge in Exkrementen (TAN _{excr})	N-Menge in Exkrementen (N _{excr})
Mittelwert (arithmetisch)	7,4	10,0	0,142	0,078
Standardabweichung	2,8	3,8	0,049	0,027
Median	6,9	9,4	0,138	0,075
Obere Konfidenzgrenze Mittelwert (75%)	8,4	11,3	n.b. ¹⁾	n.b. ¹⁾
Obere Konfidenzgrenze Mittelwert (90%)	8,9	12,0	n.b. ¹⁾	n.b. ¹⁾

¹⁾ n. b. = nicht berechnet, da Kalkulationswerte nach KTBL (2014).

Tabelle 11 zeigt die gemittelten jährlichen NH₃-Emissionsraten, bezogen auf Großvieheinheit (GV) und Tierplatz (TP) inklusive Standardabweichung, Median und oberen Konfidenzintervall (75% und 90%). Diese Angaben bieten eine klare Übersicht über die statistischen Eigenschaften des Datensatzes und unterstützen eine Interpretation der Ergebnisse. Weiterhin enthält Tabelle 11 NH₃-N-Emissionsfaktoren (Gleichung 4), berechnet auf Basis der mit den Exkrementen anfallenden Mengen von Total Ammonical Nitrogen (TAN) und Stickstoff (N), ergänzt durch die entsprechenden statistischen Kennzahlen.

Im Projekt wird die gemessene und auf das Jahr hochgerechnete Menge freigesetzter Ammoniak- bzw. Methanemissionen pro Tierplatz oder Großvieheinheit als „Emissionsrate“ bezeichnet. Im Gegensatz dazu stellt der Begriff „Emissionsfaktor“ einen dimensionslosen Parameter dar, der die Emissionen im Verhältnis zur ausgeschiedenen TAN-Menge angibt.

Die grundlegende Beziehung zwischen Emission, Emissionsfaktor und ausgeschiedener TAN-Menge (oder N-Menge) ist wie folgt:

$$E = EF \cdot TAN\text{-Menge} \quad (\text{Gl. 4})$$

mit
 E = Emission (kg NH₃-N)
 EF = Emissionsfaktor (kg kg⁻¹)
 TAN = ausgeschiedene TAN-Menge (kg TAN-N)

4.6 Ergebnisse Methan-Emissionsraten

Auch bei den Methan-Emissionsraten ist eine Streuung der Emissionsraten der Betriebe innerhalb der Varianten ersichtlich (Abbildung 8). Insbesondere die für die Betriebe Keller 1 und Plan 3 errechneten Emissionsraten variieren deutlich, verglichen mit den anderen Betrieben der jeweiligen Variante.

Im [Anhang 7](#) sind die Methan-Emissionraten je Betrieb und Messperiode dargestellt.

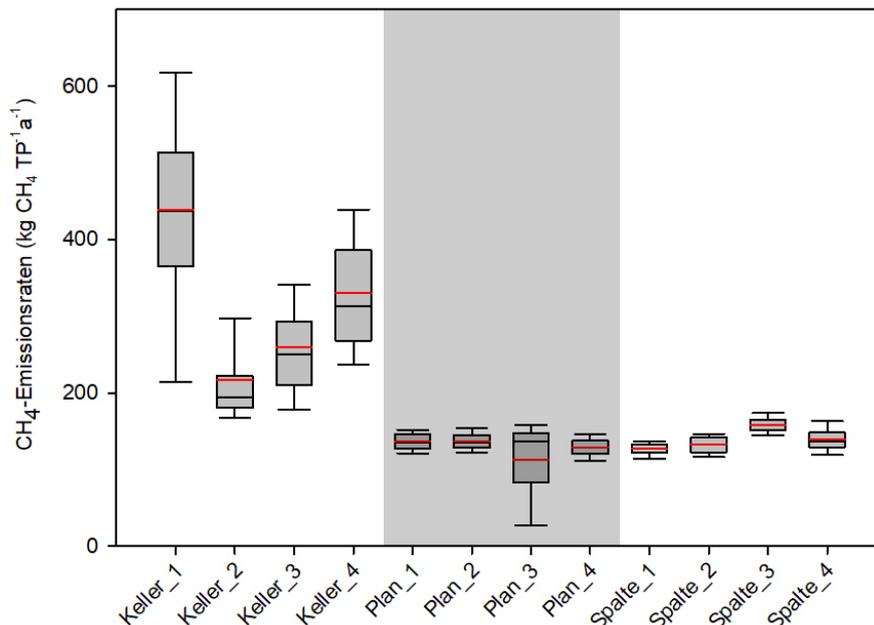


Abbildung 8: Methan-Emissionsraten (kg CH₄ TP⁻¹ a⁻¹) für die untersuchten Varianten „Keller“, „Plan“ und „Spalte“ berechnet auf Basis von ungewichteten Stundenmittelwerten. Die rote und die schwarze Linie (innerhalb der Säulenelemente) kennzeichnen das arithmetische Mittel bzw. den Median (TP = Tierplatz). (© KTBL)

Wie in Abbildung 8 zu erkennen, gibt es zwei Niveaus der Methan-Emissionsraten, die abhängig vom Ort der Güllelagerung sind: Betriebe mit Güllelagerung im Stallgebäude zeigen deutlich höhere Emissionsraten. Die errechneten Emissionen dieser Betriebe (Variante „Keller“) setzten sich dabei aus den Emissionen des Stalls und des Lagers zusammen, bei den beiden anderen Varianten (Güllelagerung außerhalb des Stalls) wurden lediglich die Emissionen des Stallgebäudes erfasst.

Die Ergebnisse bestätigen, dass mit der angewendeten Methode erwartete Unterschiede nachgewiesen werden können.

Tabelle 12 zeigt die Bezugswerte für die Ergebnisberechnung. Es wird nach dem Ort der Güllelagerung (außerhalb oder im Stall) unterschieden.

Tabelle 12: Verwendete Bezugseinheiten und Bezugswerte für die Ergebnisse der Milchkuh-Liegeboxenlaufställe

Parameter	Bezugseinheit	Bezugswert bei Güllelagerung im Stall (Variante „Keller“)	Bezugswert bei Güllelagerung außerhalb des Stalls (Varianten „Plan“, „Spalte“)
Mittlere Milchleistung	kg Milch a ⁻¹	9.800	9.227
Mittlere TAN-Menge in Exkrementen	kg TAN _{excr} TP ⁻¹ a ⁻¹	54	69
Mittlere N-Ausscheidung	kg N TP ⁻¹ a ⁻¹	100	125
Anzahl Betriebe	n	4	8
Mittlere Anzahl Großvieheinheiten	GV Betrieb ⁻¹	159	194

Die berechneten mittleren temperaturgewichteten jährlichen CH₄-Emissionsraten sind in Tabelle 13 aufgeführt. Die Emissionsraten betragen für die Variante „Keller“ 308 kg CH₄ TP⁻¹ a⁻¹, für die Variante „Plan“ 125 kg CH₄ TP⁻¹ a⁻¹ und für die Variante „Spalte“ 137 kg CH₄ TP⁻¹ a⁻¹. Es konnte ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den mittleren jährlichen CH₄-Emissionsraten der Variante „Keller“ und den beiden Varianten „Plan“ und „Spalte“ nachgewiesen werden (Tabelle 13).

Tabelle 13: Temperaturgewichtete jährliche CH₄-Emissionsraten der Untersuchungsvarianten „Keller“, „Plan“ und „Spalte“. Emissionsraten mit denselben Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant (t-Test, p > 0,05)

Variante	Emissionsrate in kg CH ₄ TP ⁻¹ a ⁻¹
Keller	308 ^a
Plan	125 ^b
Spalte	137 ^b

Der Mittelwert für die Varianten „Plan“ und „Spalte“ beträgt 131 kg CH₄ TP⁻¹ a⁻¹, der mittlere Jahreswehrt für die Variante „Keller“ liegt bei 308 kg CH₄ TP⁻¹ a⁻¹. Diese Ergebnisse sowie die dazugehörigen statistischen Kenngrößen sind in Tabelle 14 zusammengestellt.

Tabelle 14: Mittelwert, Standardabweichung und Median der temperaturgewichteten CH₄-Emissionsraten berechnet für die untersuchten Milchkuhställe („Keller“ + „Spalte“ + „Plan“; n = 12)

Parameter	CH ₄ - Emissionsraten in kg a ⁻¹ mit Güllelager im Stall (Variante „Keller“)		CH ₄ - Emissionsraten in kg a ⁻¹ mit Güllelager außerhalb des Stalls (Varianten „Plan“, „Spalte“)	
	je GV	je TP	je GV	je TP
Mittelwert (arithmetisch)	228	308	97	131
Standardabweichung	67	91	10	13
Median	214	288	94	126
Obere Konfidenzgrenze Mittelwert (75%)	276	373	101	137
Obere Konfidenzgrenze Mittelwert (90%)	308	415	103	140

4.7 Ergebnisse Geruch

Die Geruchsuntersuchungen an den Milchkuhställen wurden aus Kostengründen nur an ausgewählten Betrieben durchgeführt. Insgesamt konnten auf vier Betrieben Untersuchungen durchgeführt werden. Hierbei wurden auch die drei Varianten „Keller“, „Plan“ und „Spalte“ untersucht, bei zwei Betrieben auch während des Weidegangs der Tiere

Die Untersuchungen erstreckte sich auf 3 bis 6 Messtage je Standort, jeweils mit drei Messungen verteilt über den Tag. Im Gegensatz zu Ammoniak, welches kontinuierlich gemessen wurde, konnte für Gerüche nur eine deutlich geringere Datenbasis erstellt werden. Tabelle 15 zeigt die Spannen der Geruchskonzentrationen, die Anzahl der Messungen sowie die berechneten Geruchsfrachten in den Betrieben – mit und ohne Weidegang. Die Probenahme erfolgte gemäß den in Kapitel 3.2 beschriebenen Methoden.

Für den Zeitraum der Geruchsmessungen konnten teilweise keine zugehörigen Volumenströme ermittelt werden, was insbesondere für die Variante „Spalte“ galt. Aufgrund dieser fehlenden Volumenströme ließen sich keine Geruchsfrachten berechnen. Infolgedessen ist es aufgrund der begrenzten Datenmenge und der fehlenden Volumenströme, insbesondere für die Variante „Spalte“, nicht sinnvoll, einen repräsentativen Jahreswert für Geruchsemissionen aus Milchkuhställen abzuleiten.

Tabelle 15: Spannen und Anzahl der Geruchskonzentrationen und -frachten in den Milchkuhställen. Detaillierter Vergleich der Varianten „Keller“ und „Plan“ (jeweils mit und ohne Weidegang) sowie „Spalte“.

Variante	Geruchs- konzentration GEE m ⁻³	Anzahl Geruchsproben n	Geruchsfrachten (berechnet) GEE s ⁻¹ GV ⁻¹	Anzahl Geruchsfrachten n
Keller ¹⁾	39–1.332	24	15–55	10
Keller mit Weidegang ²⁾	41–311	9	19–215	6
Plan ¹⁾	48–315	9	33–71	5
Plan mit Weidegang ²⁾	30–446	14	10–181	12
Spalte ¹⁾	20–720	38	– ³⁾	0

GEE = Europäische Geruchseinheit

¹⁾ Alle Tiere im Stall.

²⁾ Tiere teilweise auf der Weide.

³⁾ Aufgrund fehlender Volumenströme keine Frachten ermittelt.

5 Milchkuhbetriebe mit Weidehaltung

5.1 Auswahl der Betriebe

Um den Einfluss der Weidehaltung auf die Emissionen im Stall zu bewerten, wurden Betriebe ausgewählt, die ihren Tieren mindestens sechs Stunden Weidegang täglich über einen Zeitraum von 180 Tagen jährlich ermöglichen. Die Messungen der Ammoniak- und Methanemissionen erfolgten sowohl dann, wenn sich alle Tiere im Stall befanden als auch in Zeiten, in denen der Stall leer stand. Die Ammoniak- und Methanemissionen der Tiere auf der Weide wurden nicht erfasst.

Im Rahmen des EmiDaT-Projekts wurden drei Milchkuhbetriebe mit Weidegang untersucht. Aus Abbildung 9 ist die geografische Lage der ausgewählten Milchkuhbetriebe zu entnehmen. Die Gruppe „Weide“ umfasst drei verschiedene Betriebstypen: einen Betrieb mit planbefestigtem Laufgang und Gülleaußenlager, einen Betrieb mit Spaltenboden im Laufgang und Gülleaußenlager sowie einen Betrieb mit Spaltenboden und Güllekeller.

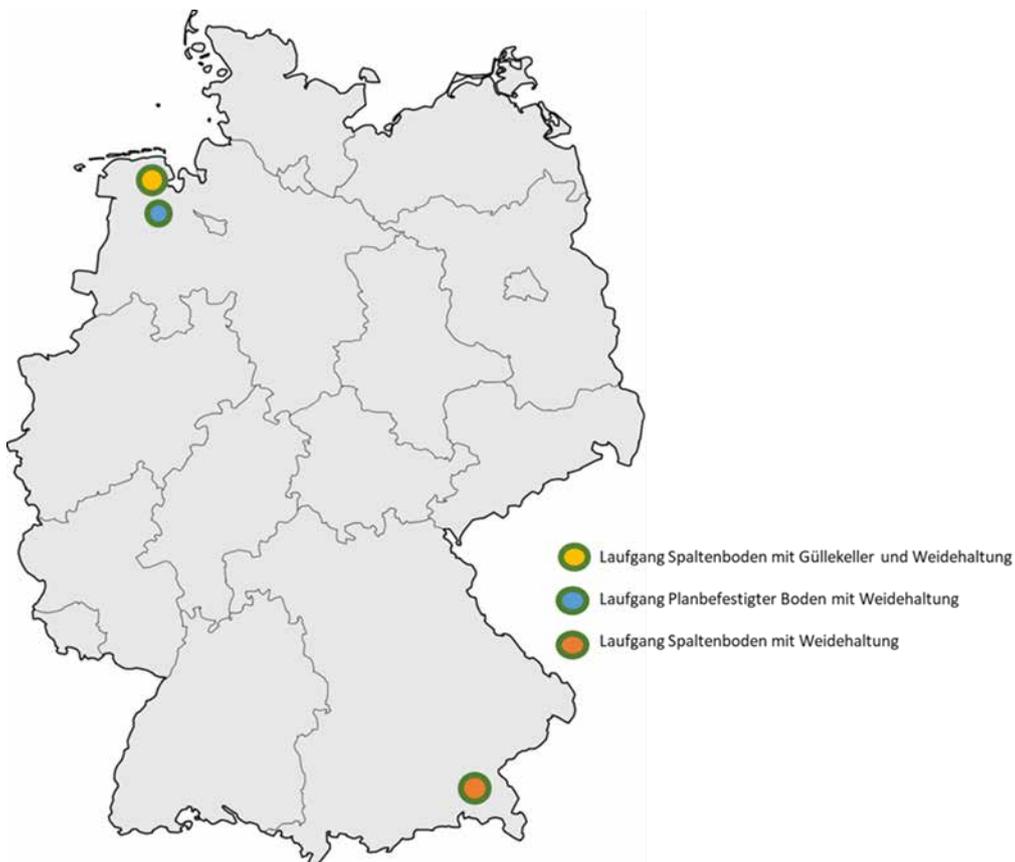


Abbildung 9: Geografische Lage der im Rahmen des EmiDaT-Projekts ausgewählten Milchkuhbetriebe mit Weidegang (© KTBL)

5.2 Standortbeschreibungen

In Tabelle 16 sind die Standorteigenschaften der drei untersuchten Ställe aufgeführt.

Tabelle 16: Betriebsspezifische Merkmale der untersuchten Milchkuhställe Variante „Weide“

Merkmal	Bezugseinheit	Milchviehbetriebe mit Weidehaltung		
		Betrieb		
		1 Variante „Keller“	2 Variante „Plan“	3 Variante „Spalte“
Gebäude und Tiere				
Baujahr	-	2001	1999	2001
Stallfläche	m ²	693	1.238	1.417
Anzahl Tierplätze	n	105	120	82
Lauffläche pro Tierplatz ¹⁾	m ²	3,3	2,3	3,7
Rasse	-	HF-Schwarzbunt	HF-Schwarzbunt	Fleckvieh
Milchleistung	kg ECM a ⁻¹	10.742	6.656	8.423
Management und Gülle				
Art der Laufflächenreinigung	-	(Hof-)Traktor	Entmistungsschieber	Entmistungsroboter
Häufigkeit der Laufflächenreinigung	n d ⁻¹	2	12	8–12
Oberfläche Güllekanal	m ²	330	-	286
Tiefe Güllekanal	m	1,7	-	1,3
Entmistungsverfahren	-	Slalomverfahren	-	Schwemmkanal
Melken und Futter				
Melksystem	-	Melkstand	Melkstand	Melkroboter
Futtergrundlage	-	Gras-, Maissilage, Heu, Stroh, MLF	Gras-, Maissilage, Heu, Stroh, MLF	Gras-, Maissilage, MLF

HF = Holstein Friesian ECM = fett- und eiweißkorrigiert MLF = Milchleistungsfutter

¹⁾ Mittelwert über alle Messwochen (MW).

5.3 Messaufbau

Der Messaufbau für die Messungen mit künstlichem Tracergas (SF₆) in den Milchkuhställen entspricht demjenigen für das natürlichem Tracergas CO₂. Zusätzlich ist eine Zudosierungsleitung erforderlich, um das künstliche Tracergas (SF₆) freizusetzen. Idealerweise sollte diese Leitung im Bereich der verschmutzten Flächen verlaufen. Aufgrund technischer Einschränkungen, wie Schiebereinsätzen, Reinigungsroboterfahrten oder materieller Gegebenheiten, war es jedoch nicht möglich, die Zudosierungsleitung für SF₆ an den Kanten der Liegeboxen anzubringen, wo sie näher an den verschmutzten Bereichen liegen würde. Deshalb wurde die Zudosierungsleitung entlang der Trenngitter der Liegeboxen befestigt (Abbildung 10).



Abbildung 10: Position der Zuführungsleitung (im roten Kreis) über die das künstliche Tracergases SF₆ am Standort „Weide 3“ zugeführt wurde (© KTBL)

Die zentrale Sammel- und Probenahmeleitung war mit zwei separaten Außenmesspunkten an den Gebäudelängsseiten verbunden und befand sich in einer Höhe von ca. 2,5 m Höhe, ähnlich wie bei der natürlichen Tracergasmethode. Die Analyse der Gaszusammensetzung in den Stallluftproben erfolgte für Ammoniak und Kohlendioxid mithilfe eines Fourier-Transformations-Infrarotspektrometers (FTIR) und für Schwefelhexafluorid mittels Gaschromatographie mit Elektroneneinfangdetektor (GC-ECD).

Die Messungen mit CO₂ erfolgten, wenn alle Tiere sich im Stall aufhielten, während die Messungen mit SF₆ durchgeführt wurden, wenn die Tiere sich ganz oder teilweise außerhalb des Stalles aufhielten. Zeitgleichen Messungen mit SF₆ und CO₂ wurden durchgeführt, wenn sich alle Tiere im Stall aufhielten, um einen Vergleich zwischen den beiden Tracergasen zu ermöglichen (Tabelle 17).

Tabelle 17: Emissionsmessungen mit CO₂ und/oder SF₆ als Tracergas während der sechs Messwochen in den Milchkuhbetrieben mit Weidegang („Weide 1–3“)

Messwoche	Milchkuhbetrieb		
	Weide 1	Weide 2	Weide 3
	Tracergas		
1	CO ₂	SF ₆	CO ₂
2	SF ₆ /CO ₂	SF ₆	CO ₂
3	SF ₆	SF ₆	CO ₂
4	SF ₆	SF ₆	SF ₆
5	CO ₂	SF ₆ /CO ₂	SF ₆
6	CO ₂	SF ₆ /CO ₂	SF ₆ /CO ₂

5.4 Ergebnisse Ammoniak

Die Ergebnisse der Emissionsmessungen aus Ställen der Betriebe mit Weidegang sind in Abbildung 11 dargestellt. In den Betrieben 1 und 3 konnte aufgrund der Witterungslage (heißer Sommer) und der Verwendung von Melkroboter (Betrieb 3) keine kontinuierliche Abwesenheit der Tiere aus dem Stall über einen Zeitraum von mindestens 6 Stunden gewährleistet werden. Nur bei Betrieb „Weide 2“ wurde der Weidegang annähernd wie geplant und erwartet praktiziert (Tabelle 18).

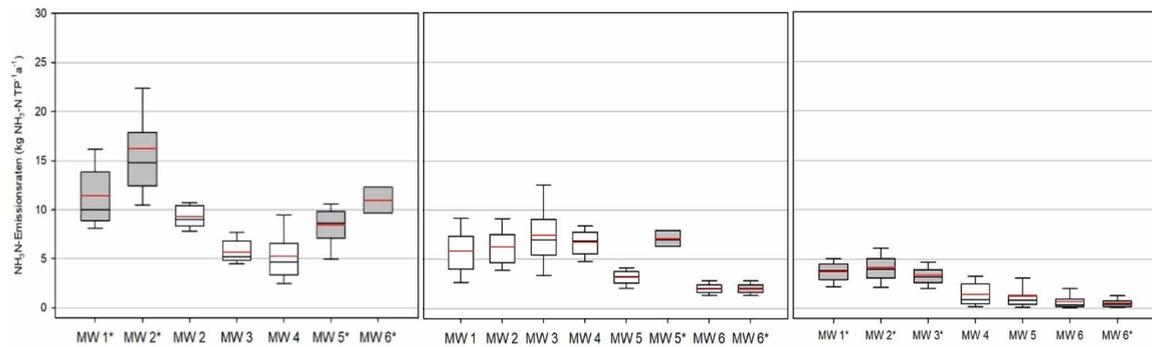


Abbildung 11: Ammoniak-Emissionsraten der jeweils 6 Untersuchungswochen der drei Betriebe der Variante „Weide“ in kg NH₃-N TP⁻¹ a⁻¹. Links: Weide 1, Mitte: Weide 2, rechts: Weide 3; graue Boxplots: CO₂ als Tracergas, weiße Boxplots: SF₆ als Tracergas. (© KTBL)

*Tiere durchgängig im Stall. Die rote und schwarze Linie (innerhalb der Säulenelemente) kennzeichnen das arithmetische Mittel bzw. den Median.

Tabelle 18: Weidegang und Melkzeiten auf den drei Milchkuhbetrieben während der Emissionsmessungen

Milchkuhbetrieb	Weidegang für die Tiere	Melkzeiten im Stall
Weide 1	Messwochen 2–4 jederzeit: Tiere auf der Weide und jederzeit im Stall Messwoche 4: nachts alle Tiere draußen	ca. 6:30–9:00 Uhr 16:30–19:00 Uhr
Weide 2	Messwochen 1–4: alle Tiere auf der Weide von ca. 11:00–16:00 Uhr und 19:00– 6:00 Uhr	ca. 6:00–10:00 Uhr 16:00–19:00 Uhr
Weide 3	Messwochen 4 und 5: Tiere hatten tagsüber jederzeit Zugang zur Weide und zum Stall	kontinuierlich mit Melkroboter

Die höchsten Emissionsraten wurden im Betrieb „Weide 1“ ermittelt, während die niedrigsten Emissionsraten im Betrieb 3 verzeichnet wurden (Abbildung 11). Insgesamt sind die Emissionsraten für Ammoniak in allen drei Betrieben vergleichbar mit den Emissionsraten, die in den 12 untersuchten Betriebe ohne Weidehaltung gemessen wurden (Kapitel 4.5).

In den drei Betrieben wurden über einen Zeitraum von vier Messwochen Vergleichsmessungen mit der CO₂- und der SF₆-Tracergasmethode durchgeführt. Die Ergebnisse wiesen teilweise erhebliche Abweichungen auf, wobei aufgrund der begrenzten Anzahl der Vergleichsmessungen zwischen CO₂ und SF₆ keine eindeutige Erklärung gefunden werden konnte.

Es ist nicht möglich, einen mittleren Jahreswert für die Ammoniak-Emissionsrate über alle drei Betriebe im „Weide-Verfahren“ zu berechnen, da es keine einheitlichen oder den Vorgaben entsprechende Weidepraxis in allen drei Betrieben gab. Zudem war die Anzahl der Betriebswiederholungen mit nur drei Betrieben nicht ausreichend für eine aussagekräftige Berechnung.

5.5 Einfluss der Weidezeiten auf die NH₃- und CH₄-Konzentrationen im Stall

Der Einfluss der Weidezeiten auf die Ammoniak- und Methankonzentrationen im Stall wurde im Betrieb 2 besonders deutlich. In Tabelle 19 sind die Zeiten während der ersten Messwoche aufgeführt, zu denen der Stall vollständig leer war und alle Tiere auf der Weide.

Tabelle 19: Zeiträume, in denen sich die Tiere während der Messwoche 1 in Betrieb „Weide 2“ auf der Weide aufhielten.

Datum	Weidezeiten	
	Zeitraum 1	Zeitraum 2
22.05.2019	12:00–16:00 Uhr	19:00–06:00 Uhr
23.05.2019	12:00–16:00 Uhr	20:00–06:00 Uhr
24.05.2019	10:00–16:00 Uhr	19:00–06:00 Uhr
25.05.2019	12:00–16:00 Uhr	20:00–06:00 Uhr
26.05.2019	12:00–16:00 Uhr	20:00–06:00 Uhr
27.05.2019	10:00–12:00 Uhr	19:00–06:00 Uhr
28.05.2019	10:00–16:00 Uhr	19:00–06:00 Uhr

Abbildung 12 zeigt die Ammoniakkonzentrationen während der ersten Messwoche im Betrieb „Weide 2“. Die Konzentrationen steigen unmittelbar nach den Melkzeiten stark an und nehmen allmählich ab, wenn die Tiere tagsüber oder über Nacht draußen sind. Es ist entscheidend, die Flächen nach dem Austrieb der Tiere gründlich zu reinigen, um eine schnelle Reduktion der Ammoniakkonzentrationen zu erreichen.

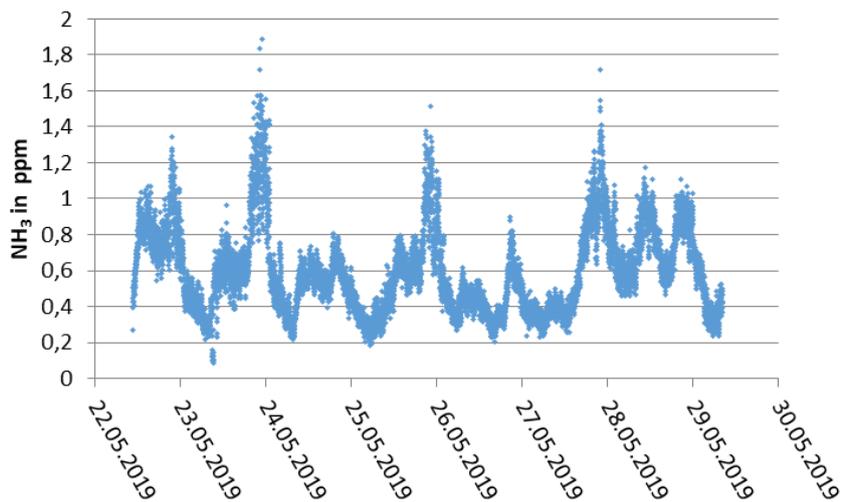


Abbildung 12: Verlauf der Ammoniakkonzentrationen (ppm) im Stall während der Messwoche 1 im Betrieb „Weide 2“ (© KTBL)

Der Einfluss der Tiere außerhalb des Stalles auf die Methankonzentrationen im Stall wird in Abbildung 13 besonders deutlich. Während der in Tabelle 19 aufgeführten Weidegangzeiten sind die Methankonzentrationen im Stall gering, die Methan-Spitzenwerte von bis zu 35 ppm können den Zeiten zugeordnet werden, in denen sich die Tiere während des Melkens im Stall aufhielten.

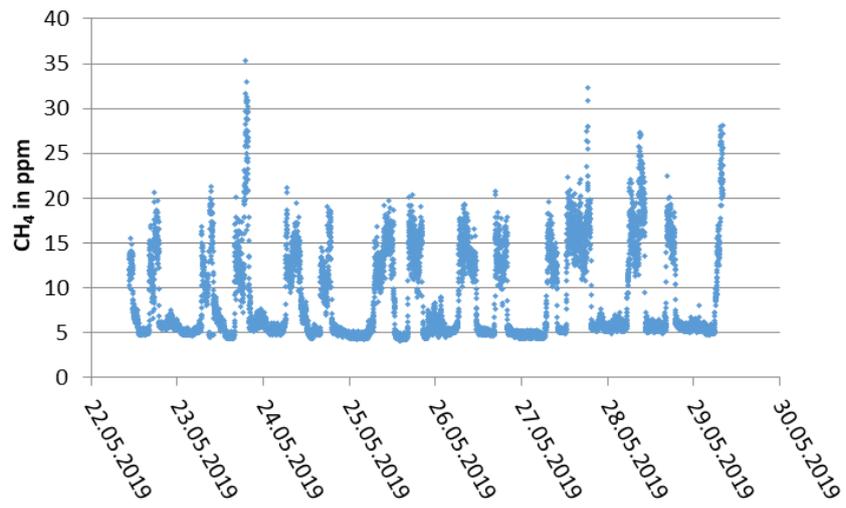


Abbildung 13: Verlauf der Methankonzentrationen (ppm) im Stall während der Messwoche 1 im Betrieb „Weide 2“ (© KTBL)

6 Managementempfehlungen für Milchkuhbetriebe

Fütterung

Um die Ammoniakemissionen zu reduzieren, ist es entscheidend, die Ausscheidung von Stickstoff in den Exkrementen durch eine angepasste Fütterung zu minimieren. Dabei ist es besonders wichtig, Nährstoffüberschüsse im Futter, insbesondere Stickstoffüberschüsse, zu verhindern. Bei Milchkühen können solche Überschüsse, die sich in einer positiven ruminalen Stickstoffbilanz (RNB) zeigen, z. B. durch die Verwendung von jungem Weidegras entstehen. Diese Überschüsse sollten durch den Einsatz eiweißarmer, aber energiereicher Futtermittel, die eine negative RNB aufweisen, ausgeglichen werden. Geeignete Futtermittel hierfür sind unter anderem Maissilage, Pressschnitzelsilage, Getreide, Körnermais oder Melasseschnitzel, wie von der DLG (2001) empfohlen.

Die Ergebnisse der Futtermitteluntersuchungen, die in den ausgewählten Milchkuhbetrieben durchgeführt wurden, sind im [Anhang 4](#) detailliert aufgeführt. In den untersuchten Betrieben wurden zu drei verschiedenen Zeitpunkten Grundfutteranalysen durchgeführt, um eine Übersicht der Fütterungspraxis zu gewinnen. Die dabei ermittelten Daten zur Gestaltung der Futtermittelrationen spiegeln die Richtlinien der DLG (2014, 2020, 2023) wider. Es wird daher empfohlen, diese bewährten Fütterungsrichtlinien in allen Betrieben auch weiterhin zu befolgen.

Sauberkeit und Trockenheit

Eine wichtige Voraussetzung zur Reduktion der Emissionen von Ammoniak und Geruch sind die Sauberkeit und Trockenheit der emittierenden Flächen. Dies kann durch eine vollständige und gründliche Reinigung aller Laufflächen erzielt werden.

Eine kontinuierliche Reinigung erfolgt bei planbefestigten Böden mit stationären Entmistungssystemen. In der Regel laufen diese Systeme mehrmals täglich, mindestens alle 2 Stunden. Alternativ werden die Exkremente von den Laufflächen auch mit mobilen Geräten, z. B. einem (Hof-)Traktor mit Räumschild, in Abwurfshächte abgeschoben oder in einem (externen) Dunglager gelagert. Die Wirksamkeit der Reinigung hängt maßgeblich von der Ebenheit der gereinigten Flächen ab. Ein ebener Untergrund ermöglicht eine gründlichere Entfernung von Verschmutzungen und verhindert die Bildung von Pfützen, die nicht nur Emissionen fördern, sondern auch die Gesundheit der Tierklauen beeinträchtigen können. Dementsprechend ist es entscheidend, dass die verwendeten Reinigungsgeräte an die Beschaffenheit des Bodens angepasst sind, um unebene Flächen effektiv zu reinigen und die Bildung von emissionsfördernden Pfützen zu vermeiden.

Bei Spaltenböden werden die Exkremente von den Tieren durch die Spalten in darunterliegende Kanäle getreten und von dort in Intervallen oder kontinuierlich ins Flüssigmistlager geführt. Bei den Betrieben der Variante „Keller“ (Speicher-Zirkulationsverfahren oder Slalomsystem) bleibt meist die gesamte Güllemenge über einen längeren Zeitraum im Keller unter den Spalten liegen. Da dies insbesondere die Methanemissionen im Stall erhöht (Kapitel 4.6), sollte die Gülle häufiger abgepumpt und die Güllelagerung, falls vorhanden, in einem abgedeckten Außenlager und nicht im Güllekeller im Stall erfolgen.

Durch den Einsatz von Reinigungsrobotern bei Spaltenböden, die den aufliegenden Kot regelmäßig in die Spalten schieben, können die Laufflächen sauber gehalten werden. Dies gilt insbesondere für Quergänge, die ansonsten händisch gereinigt werden müssen. Der Einsatz von Sprüheinrichtungen bei Spaltenböden oder planbefestigten Böden verbessert meist den Reinigungseffekt und führt in der Regel zu einer

Emissionsminderung, da die Oberflächen sauber gehalten werden und auf den Lamellen vorhandenen Harnpfützen in den darunterliegenden Lagerraum abfließen können.

Im EmiDaT-Projekt konnte kein statistisch signifikanter Einfluss der baulichen Gestaltung der Laufgänge (planbefestigt oder Spaltenboden) oder der Güllelagerung im oder außerhalb des Stalles (Keller, Spalte, Plan) auf die Ammoniak-Emissionsraten nachgewiesen werden (Kapitel 4.5).

In einigen Betrieben wurden niedrigere Ammoniak-Emissionsraten festgestellt, die unter dem Durchschnitt aller untersuchten Varianten lagen. Dies könnte auf eine effektive Reinigung sowohl der planbefestigten Laufflächen als auch der Lamellen und der Lamellenzwischenräume bei Spaltenböden in den Varianten „Keller“ und „Spalte“ zurückgeführt werden.

Allerdings wurde in den Betrieben „Keller 2“ und „Spalte 3“, mit Laufflächen von 600 m² bzw. 943 m², jeweils nur ein Reinigungsroboter eingesetzt, der nicht in der Lage war, die gesamte Fläche zufriedenstellend zu reinigen. Im Gegensatz dazu profitierte der Betrieb „Spalte 4“ mit seiner geringeren Lauffläche von 286 m² von einem Reinigungsroboter, der aufgrund der kleineren Fläche die Laufgänge häufiger und effektiver reinigen konnte. Dies führte zu durchgängig sauberen und trockenen Bedingungen. Im Vergleich dazu wiesen „Keller 2“ und „Spalte 3“, mit ihren größeren Laufflächen, eine beständig höhere Verschmutzung auf, was die Effizienz der Reinigung in direkten Zusammenhang mit der Größe der Lauffläche stellt (Abbildung 14).



Abbildung 14: Vergleich der Verschmutzung der Laufflächen im Betrieb „Keller 2“ (links) und im Betrieb „Spalte 4“ (rechts) (© KTBL)

Aus diesen Beobachtungen kann abgeleitet werden, dass eine Anpassung der Reinigungsintervalle und der Leistung der Reinigungsroboter an die Größe und Beschaffenheit der zu reinigenden Flächen notwendig ist. Um die Reinigungseffizienz zu steigern und potenziell die Ammoniakemissionen zu senken, sollte der Einsatz zusätzlicher Reinigungsroboter erwogen oder die Anzahl der Reinigungsdurchgänge pro Tag erhöht werden.

7 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen für Milchkuhbetriebe

Das Hauptziel des Projekts „EmiDaT“ bestand darin, den aktuellen Stand der Ammoniak- und Methanemissionen aus Liegeboxenlaufställen für Milchkühe in Deutschland zu erheben. Die Auswahl der untersuchten Ställe, die eine durchschnittliche Tierplatzanzahl von 139 sowie eine mittlere jährliche Milchleistung von etwa 9.400 kg energiekorrigierte Milch (ECM) pro Kuh aufwiesen, lag leicht über dem nationalen Durchschnitt von 72 Milchkühen und einer jährlichen Milchleistung von circa 8.500 kg ECM pro Kuh nach BMEL (2023). Innerhalb der für die Studie ausgewählten Betriebsgrößenklassen mit 100 bis 199 und 200 bis 499 Milchkühe je Betrieb sind mehr als ein Viertel und ein Sechstel der gesamten in Deutschland gehaltenen Milchkühe vertreten.

Die Kriterien für die Auswahl umfassten die Untersuchung von Milchkuhställen, die nicht älter als 10 Jahre sind, um die aktuellen räumlichen Standards moderner Milchkuhhaltung in Liegeboxenlaufställen zu reflektieren. Ein Großteil der Betriebe war mit Melkrobotern ausgestattet, was den fortschrittlichen Stand der Technik anzeigt, der oftmals mit einer höheren Tierzahl und Milchleistung als im nationalen Durchschnitt verbunden ist.

Die regionale Auswahl der Betriebe erfolgte schwerpunktmäßig in Bundesländern mit der höchsten Anzahl an Milchkühen je Bundesland und bildet die bundesweite Verteilung der Milchkühe in Deutschland gut ab. Die im Rahmen von EmiDaT untersuchten Betriebe stellen somit einen Querschnitt der modernen Vollerwerbsbetriebe in Deutschland dar.

Neben den durchschnittlichen Werten für Tierbestände und Leistungen entsprechen auch die Milch-inhaltsstoffe, insbesondere die Milchwurststoffgehalte, den vorgegebenen Empfehlungen. Liegen diese Milchwurststoffgehalte im Referenzbereich von 150 bis 250 mg Wurststoff pro Liter Milch, lässt sich von einer angemessenen Versorgung der Tiere mit Futterrohprotein, gemäß den Richtlinien der Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft (DLG 2022) ausgehen. Die an den untersuchten Ställen ermittelten durchschnittlichen Emissionsraten spiegeln daher den aktuellen Stand in Deutschland zuverlässig wider und ermöglichen eine Anwendbarkeit der Ergebnisse auf andere Betriebe.

Die Bauvarianten „Keller“, „Plan“ und „Spalte“ repräsentieren die in Deutschland vorherrschenden Bauformen von Liegeboxenlaufställen. Zudem waren in den untersuchten Betrieben mit den Rassen HF-Schwarzbunt, HF-Rotbunt und Fleckvieh die verbreitetsten Milchrasen in Deutschland vertreten. Das mittlere Tiergewicht von 675 kg Lebendmasse (entsprechend 1,35 Großvieheinheiten) korrespondiert mit aktuellen Leistungszahlen.

Die in dieser Studie erfassten Tiere waren schwerer, hatten eine höhere Milchleistung und mehr Lauffläche zur Verfügung als in den meisten älteren Milchkuhställen üblich. Die berechnete mittlere Ammoniak-Emissionsrate über die drei Stalltypen hinweg betrug $10,0 \text{ kg NH}_3\text{-N TP}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ($7,4 \text{ kg NH}_3\text{-N GV}^{-1} \text{ a}^{-1}$), der unter dem Konventionswert der VDI-Richtlinie 3894 (VDI 2011) von $12 \text{ kg NH}_3\text{-N TP}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ($10 \text{ kg NH}_3\text{-N GV}^{-1} \text{ a}^{-1}$) liegt.

Ein Vergleich von Emissionsraten ist nur bei Verwendung derselben Bezugsbasis (pro Tierplatz, pro Tier, pro GV) und unter Berücksichtigung der zugrundeliegenden Daten (Lebendmasse pro Tier; Tierkategorie, Belegungsrate bei Tierplätzen) sinnvoll. Der Konventionswert der VDI-Richtlinie 3894 (VDI 2011) basiert auf der Umrechnung $1 \text{ TP} = 1,2 \text{ GV}$. Den hier gezeigten Ergebnissen liegen mittlere Tiergewichte von 675 kg zu Grunde. Bei diesem Gewicht entspricht $1 \text{ TP} = 1,35 \text{ GV}$.

Bei einem Vergleich mit aktuellen Ergebnissen aus der Literatur ist zu berücksichtigen, dass die EmiDaT-Ergebnisse temperaturgewichtete Jahreswerte darstellen und die ermittelten Emissionsraten von Messkonzept, Stallsystem sowie Anzahl und saisonaler Verteilung der Messdaten abhängen.

Ein Vergleich der Ammoniak-Emissionswerte des EmiDaT-Projekts mit den Ergebnissen aktueller Studien aus Europa zeigt, dass die im Rahmen des EmiDaT-Projekts ermittelten Emissionsraten von $10,0 \text{ kg NH}_3\text{-N TP}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ($SD = 3,8 \text{ kg NH}_3\text{-N TP}^{-1} \text{ a}^{-1}$) im Einklang mit den in der Fachliteratur veröffentlichten Daten stehen. So wurden beispielsweise in Dänemark bei Untersuchungen an acht Ställen mit Spaltenböden und planbefestigtem Boden gemäß dem VERA-Protokoll 2011 (VERA 2011) durchschnittliche Ammoniak-Emissionsraten von $8,1 \text{ kg NH}_3\text{-N TP}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ($SD = 2,1 \text{ kg NH}_3\text{-N TP}^{-1} \text{ a}^{-1}$) festgestellt (Kai et al. 2017). Vergleichende Messungen in den Niederlanden an 18 Milchkuhställen durch Schep et al. (2022) ergaben eine durchschnittliche jährliche Emissionsrate von $11,4 \text{ kg NH}_3\text{-N TP}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ($SD = 2,6 \text{ kg NH}_3\text{-N TP}^{-1} \text{ a}^{-1}$). Aus der Schweiz berichten Schrade et al. (2012) von mittleren Ammoniak-Emissionsraten zwischen $8,7$ und $9,8 \text{ kg NH}_3\text{-N TP}^{-1} \text{ a}^{-1}$ in sechs Milchkuhställen mit Laufhöfen, wobei diese Werte je nach Höhenlage der Betriebe variieren.

Bei der Analyse der Emissionsraten von Ammoniak und Methan ist zu beachten, dass Betriebe mit der baulichen Variante „Keller“ üblicherweise keine zusätzlichen externen Güllelagerstätten aufweisen, da die Güllelagerung unterhalb der Stallfläche integriert ist. Für eine umfassende Bewertung der Gesamtemissionen aus Stall und Lagerung müssen bei Stallbauvarianten wie „Spalte“ oder „Plan“, die externe Lagerstätten nutzen, die Emissionsraten dieser Außenlager explizit einbezogen werden. Alternativ sollten bei der Beurteilung des Stalltyps „Keller“, sofern dieser ohne Außenlager betrieben wird, potenzielle Emissionen von Ammoniak oder Methan, die üblicherweise bei externen Lagerstätten auftreten, in Abzug gebracht werden. Eine isolierte Betrachtung der Emissionen, die ausschließlich aus dem Güllekeller stammen, gestaltet sich im Rahmen des gesamten Stallsystems als schwierig.

Bei der Untersuchung der Ammoniakemissionen wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den verschiedenen Bauvarianten festgestellt. Hingegen zeigen die Ergebnisse bei Methan, dass die „Keller“-Varianten höhere Emissionen aufweisen, die direkt aus der Güllelagerung im Keller resultieren. Zur Reduzierung der Methanemissionen empfiehlt sich, sofern durchführbar, eine regelmäßige Entfernung der Gülle aus dem Keller und deren Lagerung in abgedeckten Lagerstätten außerhalb des Stalls. Externe Lagermethoden, besonders jene mit gasdichter Abdeckung und verbunden mit einer Biogasanlage, bieten wirksame Ansätze zur Reduktion der Methanemissionen. Abdeckungen limitieren zudem den Luftaustausch mit der Gülleoberfläche, was die Emissionsfreisetzung reduziert, während Biogasanlagen das Methan als Energiequelle nutzbar machen.

8 Schweinemastbetriebe

8.1 Auswahl der Betriebe

Für die Auswahl geeigneter Mastschweinställe mit Auslauf wurden folgende Hauptkriterien festgelegt:

- freie Anströmung des Stallgebäudes – idealerweise quer zur Hauptwindrichtung,
- keine weitere signifikante Emissionsquellen (NH₃, CO₂, CH₄, N₂O, Gerüche) in der näheren Umgebung (geringe Hintergrundbelastung),
- Bodengestaltung der Ausläufe und
- Größe des Betriebs oder Tierplatzzahl (Gebäudedimensionen müssen messbar bleiben).

Bei der Auswahl wurde dem Punkt „freie Anströmung des Stallgebäudes“ höchste Priorität eingeräumt, da eine freie An- und Durchströmung des Stallgebäudes Voraussetzung für die im Projekt angewandte Messmethodik (Tracer-Ratio-Methode) darstellt. Dies setzt voraus, dass das zu messende Stallgebäude nicht von Strömungsbarrieren beispielsweise anderen Gebäuden, Baumreihen oder Hecken umgeben ist. Standorte mit Vorbelastung, z.B. durch andere Stall- oder Biogasanlagen in der näheren Umgebung wurden ebenfalls nicht berücksichtigt.

Von den kontaktierten Betrieben haben mehr als 80 geantwortet. Die Beurteilung der Eignung der Betriebe erfolgte über einen mehrstufigen Prozess. Als erstes wurde, wenn möglich, anhand von Luftbildern die Lage des Stallgebäudes beurteilt, um Kriterien, wie die freie Anströmbarkeit zu überprüfen. In einem zweiten Schritt wurden detaillierte Informationen zum Stallgebäude und zum Betrieb auf Basis eines Fragebogens erfasst. Basierend auf den oben genannten Schritten erfolgte eine vorläufige Beurteilung der Eignung. Anschließend wurden die ausgewählten Betriebe (21 Mastschweinställe) besucht.

Im Rahmen des EmiDaT-Messprogramms wurden Mastschweinställe mit Auslauf analysiert, die sich hinsichtlich der Zugangsöffnung der Innenbereiche zum Auslauf und der Bodenbeschaffenheit des Auslaufs unterschieden. Die untersuchten Betriebe lassen sich zwei Kategorien zuordnen:

Variante „Plan“ (Abbildung 15):

- geschlossene Ställe mit planbefestigtem, eingestreutem Auslauf
- Lüftung erfolgt im Stall über Fenster/Tore und über die Durchgänge für die Schweine in den Auslauf
- Überdachung des Auslaufs: 3 Betriebe 100% überdacht, ein Betrieb 50% überdacht
- Einstreuabdeckung des Auslaufs: 3 Betriebe 100%, 1 Betrieb 30%
- ein Betrieb hat Ausläufe auf beiden Seiten des Stalles

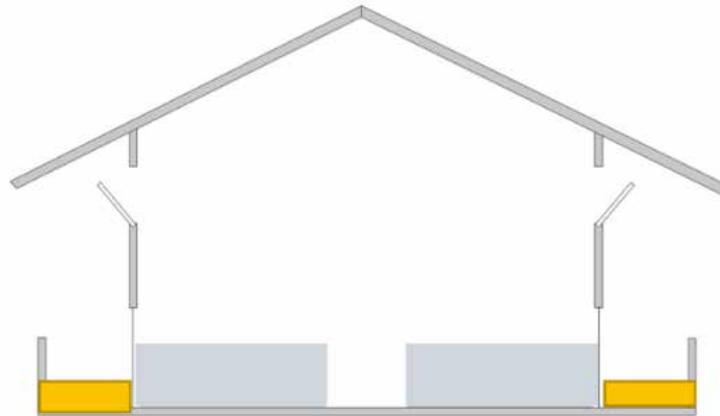


Abbildung 15: Schematischer Stallquerschnitt der Variante „Plan“ mit Auslauf (hier beidseitig), planbefestigt und eingestreut. Im Stall keine Kiste, nur Abtrennung der Buchten. (© KTBL)

Variante „Spalte“ (Abbildung 16):

- freigelüftete Außenklimaställe mit Spalten im Auslauf
- Lüftung des Stalles über Curtains und Durchgänge für die Schweine in den Auslauf
- Überdachung des Auslaufs: 1 Betrieb 100%, 2 Betriebe 50%, 1 Betrieb nur Sonnenschutznetz ohne feste Überdachung
- Bodengestaltung des Auslaufs: 2 Betriebe mit Güllekeller unter den Spalten, 2 Betriebe mit Unterflurschieber und täglicher Entmistung durch einen Schieber unter den Spalten

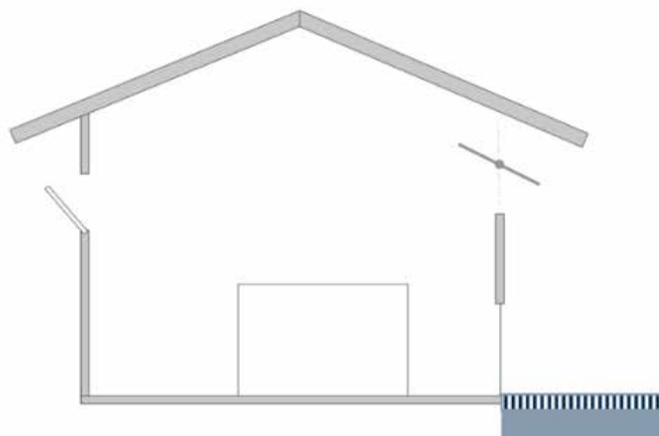


Abbildung 16: Schematischer Stallquerschnitt der Variante „Spalte“ mit abgedeckter Kiste im Stall und Spalten im Auslauf (© KTBL)

Es wurden insgesamt acht Ställe untersucht, jeweils vier Ställe der Variante „Plan“ und vier Ställe der Variante „Spalte“. Die Standorte dieser Ställe sind bundesweit verteilt, wie in Abbildung 17 dargestellt.



Abbildung 17: Geografische Lage der im Rahmen des EmiDaT-Projekts ausgewählten Mastschweinställe mit Auslauf (© KTBL)

8.2 Standortbeschreibungen

In Tabelle 20 und Tabelle 21 sind die wesentlichen Merkmale der Betriebsvarianten „Plan“ und „Spalte“ aufgeführt. Eine detailliertere Darstellung der einzelnen Betriebe und der Messwochen kann dem [Anhang 7](#) entnommen werden.

Tabelle 20: Betriebsspezifische Merkmale der untersuchten Mastschweine­ställe Variante „Plan“

Merkmal	Bezugseinheit	Variante „Plan“			
		Betrieb			
		P1	P2	P3	P4
Gebäude und Tiere					
Baujahr	-	2006, Umbau 2015	2000	2016	2006
Tierplätze (TP)	n	204	120	200	600
Rasse	-	Hybrid x Pietrain	Hybrid x Pietrain x Duroc	Dt. Hybrid x Pietrain	90% Schweizer Landrasse x Pietrain; 10% Duroc x Iberico
Mastverfahren		rein-raus	rein-raus	kontinuierlich	kontinuierlich
Belegzeit im Stall	d	345	345	365	365
Fläche/TP gesamt ¹⁾	m ²	2,4	1,6	1,1	1,7
Auslauf					
Bodengestaltung Auslauf	-	planbefestigt mit Einstreu	planbefestigt mit Einstreu	planbefestigt mit Einstreu	planbefestigt mit Einstreu
Fläche/Tier im Auslauf ²⁾	m ²	1,3	0,8	0,5	0,7
Anordnung Auslauf am Gebäude	-	einseitig	einseitig	einseitig	beidseitig
Anteil Überdachung	%	50	100	100	100
Management					
Einstreu Bucht im Stall ³⁾	-	komplett eingestreu	Minimaleinstreu	Minimaleinstreu	Minimaleinstreu
Einstreu Auslauf	-	50% eingestreu	komplett eingestreu	komplett eingestreu	komplett eingestreu
Art der Einstreu	-	Stroh	Stroh	Stroh	Stroh
Bodenreinigung Auslauf	-	(Hof-)Traktor	(Hof-)Traktor	(Hof-)Traktor	(Hof-)Traktor
Reinigungsfrequenz	-	3-mal wöchentlich	2-mal wöchentlich	2-mal wöchentlich	2-mal wöchentlich
Art des Futters/ Anzahl Phasen	-	Trockenfutter/ 1	Breifutter/ 2	Trockenfutter/ 1	Trockenfutter/ 3

¹⁾ Bezogen auf die Anzahl genehmigter Tierplätze.

²⁾ Mittelwert über alle Messwochen.

³⁾ Minimaleinstreu = Beschäftigungsmaterial.

Tabelle 21: Betriebsspezifische Merkmale der untersuchten Mastschweine­ställe Variante „Spalte“

Merkmal	Bezugseinheit	Variante „Spalte“			
		Betrieb			
		S1	S2	S3	S4
Gebäude und Tiere					
Baujahr	-	2017	Stall 1: 2017, Stall 2: 2019	Stall 1: 2016, Stall 2: 2020	2002; Umbau 2019
Tierplätze (TP)	n	408	995	1296	64
Rasse	-	Dt. Hybrid x Pietrain x Duroc	SH x Pietrain; Baden-Württember- ger Hybrid x Pietrain	Deutsche Hybrid	„db. Viktoria“ x Pietrain
Mastverfahren	-	kontinuierlich	kontinuierlich	kontinuierlich	rein-raus
Belegzeit im Stall	d	365	365	365	345
Fläche/TP gesamt ¹⁾	m ²	1,7	1,3	1,2	1,6
Auslauf					
Bodengestaltung Auslauf	-	50% planbefestigt mit Einstreu; 50% Spalte	Spalte	Spalte	Spalte
Fläche/Tier im Auslauf ²⁾	m ²	1,1	0,4	0,5	0,6
Anordnung Auslauf am Gebäude	-	einseitig	einseitig	einseitig	einseitig
Anteil Überdachung	%	75	50	0 ³⁾	100
Management					
Einstreu Bucht im Stall ⁴⁾	-	minimal einge- streute Liegekiste	minimal einge- streute Liegekiste	minimal einge- streute Liegekiste	minimal einge- streute Liegekiste
Einstreu Auslauf	-	planbefestigter Teil eingestreut	-	-	-
Art der Einstreu	-	Stroh	Stroh	Stroh	Stroh
Bodenreinigung Auslauf	-	(Hof-)Traktor planbefestigt/ Unterflurschieber Spalte	manuell oberflur; Unterflurschieber	manuell oberflur; Güllekanal nach Durchgang	manuell oberflur; Güllekanal nach Durchgang
Reinigungsfrequenz	-	eingestreuter Bereich: 1-mal wöchentlich Unterflurschieber: 1-mal täglich	Oberflur: nach Bedarf Unterflurschieber: 2-mal täglich	nach Bedarf	Oberflur: 1-mal täglich
Art des Futters/ Anzahl Phasen	-	Breifutter/ 2	Breifutter/ 2	Trockenfutter/ 3	Trockenfutter/ 2

SH = Schwäbisch-Hällisches Landschwein

¹⁾ Bezogen auf die Anzahl genehmigter Tierplätze.²⁾ Mittelwert über alle Messwochen.³⁾ Sonnensegel über gesamtem Auslauf.⁴⁾ Minimaleinstreu = Beschäftigungsmaterial.

8.3 Messaufbau

Die im Rahmen des Projekts ausgewählten Mastschweineställe mit Auslauf zeichnen sich dadurch aus, dass die Tiere Kot und Harn nahezu ausschließlich im Auslauf absetzen und die Buchten im Gebäudeinneren sauber bleiben. Daher wurde nur der Auslauf messtechnisch erfasst, d.h., die Zudosierung des künstlichen Tracers SF_6 sowie die Gasprobennahme zur Detektion von NH_3 und SF_6 erfolgte nur im Auslauf.

Die Ventilations- und Emissionsraten der Ausläufe wurden mit der Tracergas-Ratio-Methode bestimmt (VERA 2018, Berechnung siehe Kapitel 3.4). Dabei wird im Auslauf ein gasförmiger künstlicher Tracer (SF_6) mit konstantem Volumenstrom im Bodenbereich zudosiert. Diese Zudosierung erfolgte an den Gitterabtrennungen in der Auslaufbucht über Düsen, die so angebracht waren, dass die Mastschweine diese nicht beschädigen konnten (Abbildung 18).



Abbildung 18: Messaufbauten an den Standorten der Bauvarianten „Plan 4“ (links) und „Plan 1“ (rechts) mit Zudosierungsleitung für SF_6 (im blauen Kreis) und Gasprobennahmeleitung (roter Kreis); die Gasprobennahmeleitung ist bei „Plan 4“ schwenkbar. (© KTBL)

Aufgrund der unterschiedlichen baulichen Gegebenheiten und Betriebsroutinen musste die Dosierungstechnik jeweils angepasst werden. Die Messaufbauten waren so konzipiert, dass sie zwischen den Messperioden am Standort verbleiben konnten und flexibel genug installiert wurden, um Reinigungsarbeiten mit dem (Hof-)Traktor zu ermöglichen.

In den Ausläufen wurde die Luft oberhalb der Tracergaszuführungspunkte über eine Sammelleitung mit Lufteinlassdüsen in ca. 1,8 m Höhe angesaugt (Abbildung 19), um eine Mischprobe zu erhalten. Die Konzentration des Tracergases (SF_6) wurde mittels GC-ECD und die Ammoniakkonzentration mittels FTIR analysiert. Die Messung der Gaskonzentrationen erfolgte üblicherweise alle 20 Minuten. Die Bestimmung der Ammoniakkonzentrationen in der Umgebungsluft (Hintergrundkonzentrationen) erfolgte mittels Passivsammlern und nachfolgender nasschemischer Analyse.

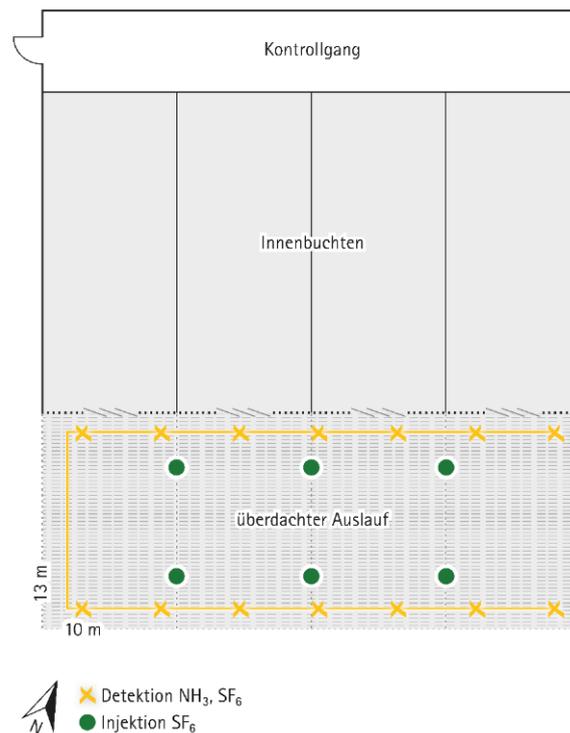


Abbildung 19: Schematischer Messaufbau für einen Betrieb der Variante „Spalte“. Im Auslauf erfolgte die bodennahe Zudosierung des künstlichen Tracergases SF_6 (grüne Punkte); die Probennahme zur Konzentrationsbestimmung von SF_6 und NH_3 in der Umgebungsluft erfolgt in dem darüberliegenden Messraum. (© KTBL)

Während der Messphasen wurden die Verschmutzungsgrade sowohl im Innen- als auch im Außenbereich der Ställe regelmäßig bewertet und fotografisch festgehalten.

Im Stallgebäude wurde speziell eine Gasprobennahmeleitung installiert, um die Ammoniakkonzentrationen (NH_3) in der Stallluft zu erfassen und die Genauigkeit der Messungen zu gewährleisten. Es wurden überwiegend keine oder nur niedrige Konzentrationen festgestellt. Eine Auswertung dieser Messungen war nicht möglich, da aufgrund der fehlenden Zugabe eines zweiten künstlichen Tracers keine Volumenstrommessung durchgeführt werden konnte. Für eine umfassende Ermittlung der Emissionen aus dem Stallbereich und dem Auslauf wären umfangreiche separate Analysen sowie Annahmen über das Verhältnis der Emissionen zwischen diesen Bereichen notwendig gewesen. Diese Annahmen hätten sich typischerweise auf Schätzungen bezüglich der Verweildauer der Tiere, der Verschmutzung der Laufflächen sowie der Windverhältnisse im Stall und im Auslauf gestützt. Bei den analysierten Ställen war die Verschmutzung durch Exkremente im Innenbereich des Stalles jedoch vernachlässigbar, da die Tiere ihre Exkremente fast ausschließlich im Auslauf absetzten. Folglich dürften die gemessenen Emissionsraten im Auslauf eine zuverlässige Annäherung an die tatsächlichen Gesamtemissionen der gesamten Stallanlage darstellen.

Nach einer sorgfältigen Qualitätskontrolle und Plausibilitätsprüfung dieser Daten, wurden sie in einer speziellen Datenbankanwendung den gemessenen Gaskonzentrationen im Auslauf und in der Umgebungsluft sowie den Dosierungsraten des Tracergases zeitlich zugeordnet (siehe Kapitel 3.3).

8.4 Erfassung weiterer Messgrößen und Betriebsinformationen

Neben der Ermittlung von Gaskonzentrationen wurden weitere Daten erfasst, die für die Berechnung der Ventilationsraten, die Zuordnung der Emissionsraten je Stall (basierend auf tierbezogene Merkmale und bauliche Gegebenheiten) sowie für die Auswertung der Messdaten relevant sind.

8.4.1 Tierbezogene Daten

Während jedes Messzeitraums wurden folgende betriebspezifischen tierbezogenen Daten erhoben:

- Anzahl Tiere im Stallgebäude: Zählung der Mastschweine in jeder Messwoche
- Mittlere Lebendmasse der Tiere: Schätzung durch Betriebsleiter
- Tägliche Zunahmen: ermittelt aus Anfangs- und Endgewicht der Mastschweine nach Angaben des Betriebsleiters
- Lauffläche je Tier: Berechnung aus Tierzahl und Lauffläche (nach Stallplan)

8.4.2 Daten zu baulichen Gegebenheiten und Betriebsmanagement

Zur Charakterisierung der baulichen Gestaltung der untersuchten Mastschweinställe wurden folgende Merkmale erhoben:

- Geografische Daten: Gebäudeausrichtung, Geokoordinaten, Hauptwindrichtung
- Bauausführung: Fassadentyp, Dachtyp, Art der Wärmedämmung
- Flächen im Stall: Bodengestaltung
- Lauffläche: Bodenbelag, Gefälle der Lauffläche, Vorhandensein und Art der Harnrinne
- Liegefläche: Liegeflächengestaltung, Art und Menge der Einstreu
- Güllekanäle: Maße, Entmistungsverfahren

Eine detaillierte Beschreibung für jeden Standort kann dem [Anhang 7](#) entnommen werden.

Betriebliche Aktivitäten hinsichtlich Futter-, Bodenreinigungs- und Güllemanagement sowie Bonitierungen wurden in jeder Messwoche dokumentiert. Die Untersuchung der Futter- und Gülleproben erfolgte stichprobenartig zu drei Messzeitpunkten. Die Ergebnisse der Analysen sind im [Anhang 6](#) dokumentiert. Folgende Merkmale wurden erhoben:

- Futtermanagement: Angabe der Fütterungsphasen, Futterkonsistenz
- Futteranalysen: Zusammensetzung des Mastfutters
- Auslauf: Bonitierung der Oberflächenverschmutzung der Auslaufflächen, Angabe zu Reinigungsintervallen je Zeiteinheit
- Gülle: Analyse der anfallenden Gülle auf deren Inhaltsstoffe

8.5 Ergebnisse Ammoniak-Emissionsraten

Zur Darstellung der Ammoniak-Emissionsraten der Einzelmessungen wurden die Stundenmittelwerte auf Jahreswerte hochgerechnet (Abbildung 20). Es ist zu beachten, dass diese Stundenmittelwerte signifikanten Schwankungen unterliegen, die einerseits maßgeblich auf die variierenden Randbedingungen wie verschiedene Reinigungsregime und Verschmutzungsgrade der Ausläufe sowie andererseits durch die unterschiedlichen Gegebenheiten im Jahresverlauf, d.h. unterschiedliche Temperaturbedingungen und Lebendmassen zurückzuführen sind. Diese Variabilität ist ein erwartetes Ergebnis und spiegelt die realen Umstände wider, unter denen die Messungen durchgeführt wurden. Im [Anhang 7](#) sind die Ammoniak-Emissionsraten je Betrieb und Messperiode dargestellt.

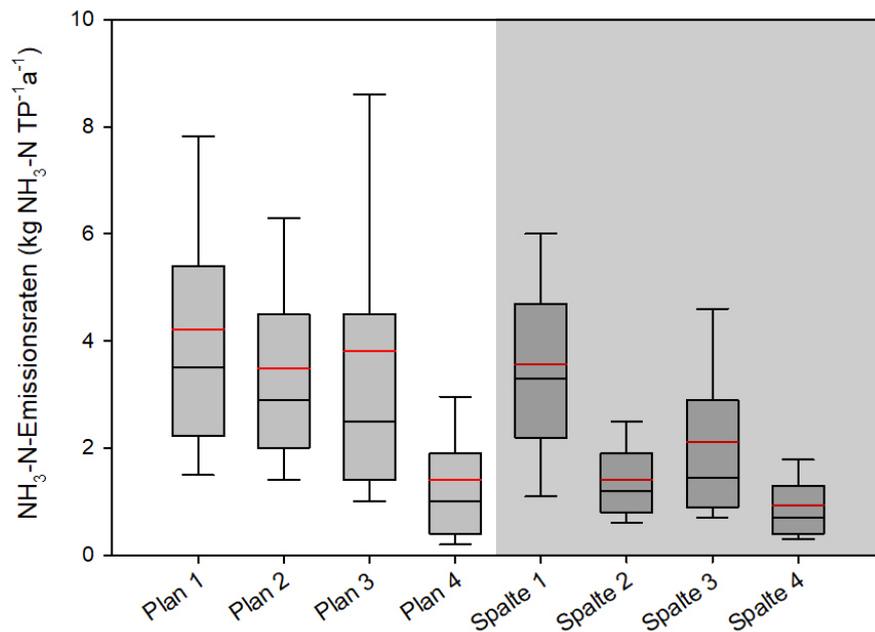


Abbildung 20: Ammoniak-Emissionsraten (kg NH₃-N TP⁻¹ a⁻¹) für die untersuchten Varianten „Plan“ und „Spalte“ berechnet auf Basis von Stundenmittelwerten. Die rote Linie und die schwarze Linie (innerhalb der Säulenelemente) kennzeichnen das arithmetische Mittel bzw. den Median (TP = Tierplatz). (© KTBL)

Die berechneten mittleren temperatur- und lebendmassegewichteten jährlichen Ammoniak-Emissionsraten sind in Tabelle 22 aufgeführt. Die Emissionsraten betragen für die Variante „Plan“ 3,2 kg NH₃-N TP⁻¹ a⁻¹, für die Variante „Spalte“ 2,0 kg NH₃-N TP⁻¹ a⁻¹. Zwischen den beiden Varianten konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den gewichteten jährlichen Ammoniak-Emissionsraten nachgewiesen werden (Tabelle 22). Der Mittelwert aus beiden Varianten beträgt 2,6 kg NH₃-N TP⁻¹ a⁻¹ (mittlere Tiermasse über die Mastperiode: 67 kg Lebendmasse).

Tabelle 22: Temperatur- und lebendmassegewichtete jährliche Ammoniak-Emissionsraten der Untersuchungsvarianten „Plan“ bzw. „Spalte“. Emissionsraten mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant (t-Test, $p > 0,05$; TP = Tierplatz).

Variante	Emissionsrate in kg NH ₃ -N TP ⁻¹ a ⁻¹
Plan	3,2 ^a
Spalte	2,0 ^a

„Total Ammonical Nitrogen“ in den Ausscheidungen

„Total Ammonical Nitrogen“ (TAN = NH₃-N + NH₄⁺-N) bezeichnet den potenziell schnell in ammoniakalischen Stickstoff umsetzbaren Stickstoffanteil in den Ausscheidungen, d.h. auch Harnstoff in den Exkrementen. Die Berechnung der Menge an TAN in der Ausscheidung erfolgte nach KTBL (2014). Hierbei wird in einem Stoffflussmodell der aufgenommene Futterstickstoff in Abhängigkeit von Verdaulichkeit und tierischer Leistung dem durch Harn und Kot ausgeschiedenen Stickstoff zugeordnet. Unter Verwendung von TAN-Anteilen in den Exkrementen (5–20% TAN im Kot und 60–95% TAN im Harn bezogen auf den jeweiligen Gesamtstickstoffgehalt) können in Abhängigkeit von Fütterungsregime und tierischer Leistung mittlere TAN-Gehalte in den Exkrementen berechnet werden. Nach KTBL (2014) kann bei Mastschweinen

von einer mittleren N-Ausscheidung von 11,0 kg pro Tierplatz und Jahr ausgegangen werden (Tabelle 23). Für die hier untersuchten Mastverfahren betragen die berechneten TAN-Anteile an der Gesamt-N-Ausscheidung ca. 77 %.

Tabelle 23: Bezugsgrößen der Ergebnisse und mittlere temperatur- und lebendmassegewichtete NH₃-N-Emissionsraten

Parameter	Bezugseinheit	Bezugswert
Mittlere Tiermasse (LM) Mastschwein über Mastperiode	kg	67
Großvieheinheit (GV)	kg	500
1 Mastschwein = 1 Tierplatz (TP)	GV	0,1336
Mittlere Zuwachsrate	g LM d ⁻¹	791
Mittlere TAN-Menge in Exkrementen	kg TAN _{excr} TP ⁻¹ a ⁻¹	8,5
Mittlere N-Ausscheidung	kg N TP ⁻¹ a ⁻¹	11
Anzahl Betriebe	n	8

Tabelle 24 zeigt die gemittelten jährlichen NH₃-Emissionsraten, bezogen auf Großvieheinheit (GV) und Tierplatz (TP) inklusive Standardabweichung, Median und oberem Konfidenzintervall (75 % und 90 %). Diese Angaben bieten eine Übersicht über die statistischen Eigenschaften des Datensatzes und unterstützen eine Interpretation der Ergebnisse. Außerdem werden die NH₃-N-Emissionsfaktoren zusammengefasst, die auf Basis der mit den Exkrementen anfallenden Mengen an Gesamtammonium-Stickstoff (TAN) und Stickstoff (N) berechnet und durch die entsprechenden statistischen Kennzahlen ergänzt wurden (Definition und Anwendung, siehe Kapitel 4.5). Der mittlere NH₃-N Emissionsfaktor für beiden Varianten beträgt, bezogen auf die berechneten TAN-Ausscheidungen, 0,31 kg NH₃-N kg TAN_{excr}⁻¹ (Tabelle 24).

Tabelle 24: Mittelwert, Standardabweichung und Median der temperatur- und lebendmassegewichteten NH₃-N-Emissionsraten und NH₃-N-Emissionsfaktoren berechnet für die untersuchten Mastschweinställe mit Auslauf (Varianten „Spalte“ und „Plan“; n = 8)

Parameter	NH ₃ -N-Emissionsraten in kg a ⁻¹		NH ₃ -N-Emissionsfaktoren bezogen auf	
	je GV	je TP	TAN-Menge in Exkrementen (TAN _{excr})	N-Menge in Exkrementen (N _{excr})
Mittelwert (arithmetisch)	19,9	2,6	0,31	0,24
Standardabweichung	9,9	1,3	0,15	0,12
Median	21,0	2,8	0,32	0,25
Obere Konfidenzgrenze Mittelwert (75%)	24,3	3,2	n. b. ¹⁾	n. b. ¹⁾
Obere Konfidenzgrenze Mittelwert (90%)	26,6	3,5	n. b. ¹⁾	n. b. ¹⁾

¹⁾ n. b. = nicht berechnet, da Kalkulationswerte nach KTBL (2014).

8.6 Ergebnisse Methan-Emissionsraten

Zur Darstellung der Methan-Emissionsraten der Einzelmessungen wurden die Stundenmittelwerte auf Jahreswerte hochgerechnet. Die Analyse zeigt auch bei den Methan-Emissionsraten eine hohe Variabilität zwischen den Betrieben innerhalb der untersuchten Varianten (Abbildung 21).

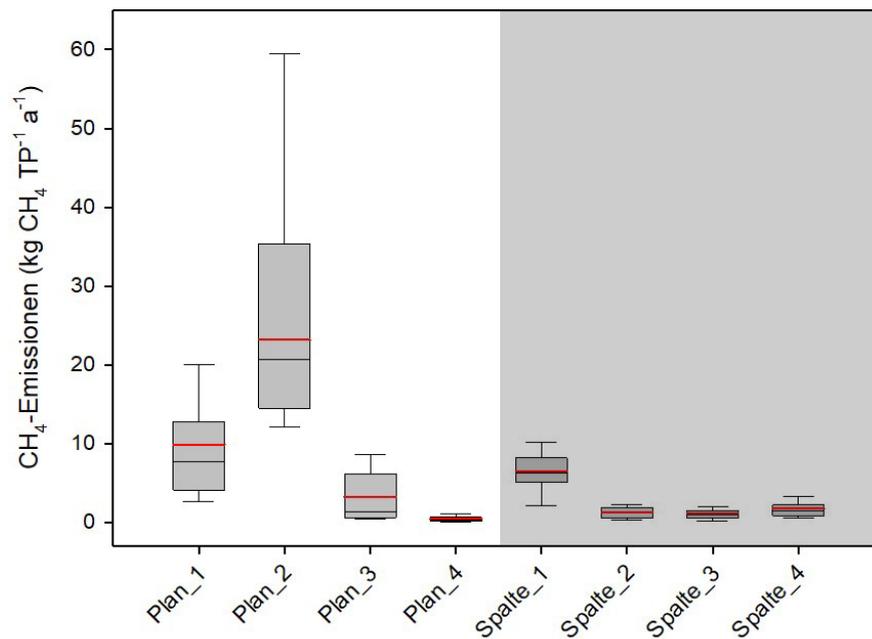


Abbildung 21: Methan-Emissionsraten ($\text{kg CH}_4 \text{ TP}^{-1} \text{ a}^{-1}$) für die untersuchten Varianten „Plan“ und „Spalte“ berechnet auf Basis von ungewichteten Stundenmittelwerten. Die rote und die schwarze Linie (innerhalb der Säulenelemente) kennzeichnen das arithmetische Mittel bzw. den Median (TP = Tierplatz). (© KTBL)

Insbesondere die Emissionsraten der Betriebe Plan 1, Plan 2 sowie Spalte 1 und Spalte 4 variieren deutlich im Vergleich zu den anderen Betrieben derselben Variante. Die Ursachen für die deutlich höheren Methan-Emissionsraten dieser Standorte konnten nicht identifiziert werden.

Tabelle 23 zeigt die Bezugswerte, die für die Berechnungen der Ergebnisse herangezogen wurden. Die mittleren temperaturgewichteten jährlichen CH_4 -Emissionsraten sind in Tabelle 25 dargestellt. Die Emissionsraten betragen für die Variante „Plan“ $10,7 \text{ kg CH}_4 \text{ TP}^{-1} \text{ a}^{-1}$ und für die Variante „Spalte“ $2,6 \text{ kg CH}_4 \text{ TP}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Es wurde kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den mittleren jährlichen CH_4 -Emissionsraten der beiden Varianten nachgewiesen (Tabelle 25).

Tabelle 25: Temperaturgewichtete jährliche CH_4 -Emissionsraten der Untersuchungsvarianten „Plan“ und „Spalte“. Emissionsraten mit denselben Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant (t-Test, $p > 0,05$; TP = Tierplatz)

Variante	Emissionsrate in $\text{kg CH}_4 \text{ TP}^{-1} \text{ a}^{-1}$
Plan	10,7a
Spalte	2,6a

Der Mittelwert für die Varianten „Plan“ und „Spalte“ beträgt $6,7 \text{ kg CH}_4 \text{ TP}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Die zugehörigen statistischen Kennzahlen, einschließlich Mittelwert, Standardabweichung und Median, sind in Tabelle 26 zusammengefasst.

Tabelle 26: Mittelwert, Standardabweichung und Median der temperatur- und lebendmassegewichteten CH₄-Emissionsraten berechnet für die untersuchten Mastschweine­ställe mit Auslauf (Varianten „Spalte“ und „Plan“; n = 8)

Parameter	CH ₄ -Emissionsraten in kg a ⁻¹	
	je GV	je TP
Mittelwert (arithmetisch)	49,0	6,66
Standardabweichung	68,0	9,42
Median	20,1	2,61
Obere Konfidenzgrenze Mittelwert (75%)	79,1	10,8
Obere Konfidenzgrenze Mittelwert (90%)	94,5	13,0

8.7 Ergebnisse Geruch

Im Gegensatz zu den Milchkuhställen ließen sich die Geruchsmessungen in allen Schweine­ställen gemäß Planung durchführen. Die Messungen erstreckten sich über 3 bis 6 Tage je Standort und Messwoche, jeweils mit drei zeitlich über den Tag verteilten Messungen.

Tabelle 27 gibt einen Überblick über die ermittelten Geruchskonzentrationen, die Anzahl der durchgeführten Messungen sowie die berechneten Geruchsfrachten für die Betriebe mit Einstreu („Plan“) bzw. Spaltenboden im Auslauf („Spalte“). Die Probenahme erfolgte gemäß den in Kapitel 3.2 beschriebenen Methoden.

Tabelle 27: Spannen und Anzahl der Geruchskonzentrationen und -frachten in den Mastschweine­ställen mit Auslauf der Varianten „Plan“ und „Spalte“

Variante	Geruchskonzentrationen GEE/m ³	Anzahl gemessener Geruchsproben n	Geruchsfrachten (berechnet) GEE s ⁻¹ GV ⁻¹	Anzahl Geruchsfrachten (berechnet) n
Plan 1	22–504	37	15–1.651	32
Plan 2	8–161	18	12–346	15
Plan 3	53–925	21	12–625	12
Plan 4	6–140	36	5–85	33
Spalte 1	8–336	18	5–200	18
Spalte 2	22–413	21	3–79	18
Spalte 3	12–298	36	3–177	32
Spalte 4	27–309	54	5–409	42

Aufgrund der breiten Streuung der Geruchsdaten wurde von der Berechnung einer jährlichen Durchschnittsgeruchsfracht abgesehen. Tendenziell sind die Geruchsfrachten bei den planbefestigten, eingestreuten Ausläufen höher als bei den Ausläufen mit Spaltenboden. Auch hier weist die Stallvariante „Plan 4“ – ähnlich wie bei den Ammoniakemissionen – eine deutlich niedrigere Emissionsfracht auf als die Betriebe „Plan 1–3“ (Abbildung 22). Dies lässt vermuten, dass ein adäquates Management (ausreichend Einstreu, regelmäßiges Entmisten) auch bei der Reduktion von Geruchsfrachten eine positive Rolle spielt.

Die Geruchsfrachten in den Ställen der Variante „Spalte“ sind alle durchgängig und deutlich niedriger im Vergleich zu den Ställen der Variante „Plan“ (Abbildung 22). Eine konkrete Erklärung für diese Beobachtung konnte nicht gefunden werden.

Insgesamt überschreiten die mittleren Geruchsfrachten der untersuchten Mastschweine­ställe mit Auslauf den in der VDI-Richtlinie 3894 (VDI 2011) festgelegten Richtwert für Mastschweine­ställe, der mit 50 GEE s⁻¹ und GV⁻¹ angegeben ist.

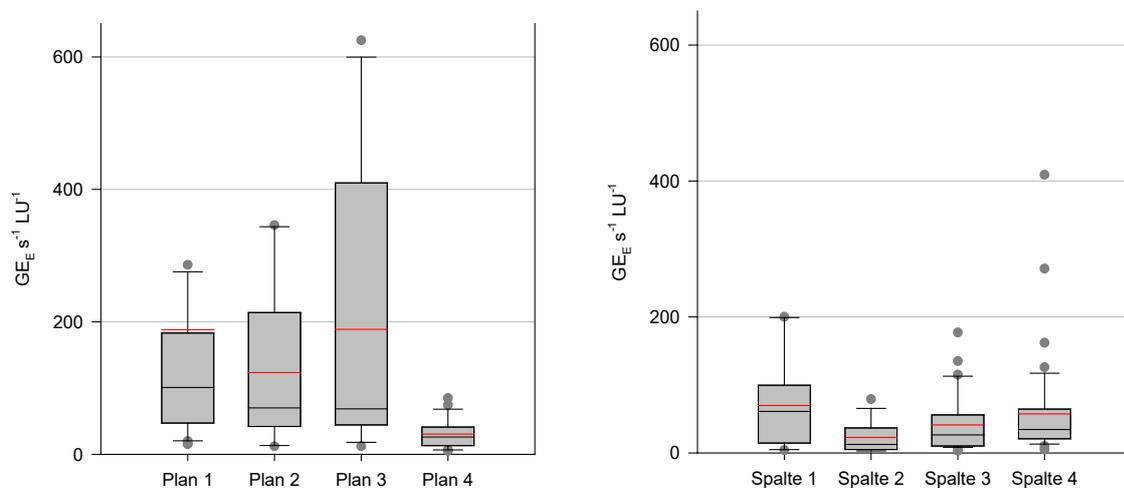


Abbildung 22: Geruchsemissionsfrachten ($\text{GEE s}^{-1} \text{LU}^{-1}$) für die untersuchten Varianten „Plan“ (links) und „Spalte“ (rechts). Die roten und die schwarzen Linien (innerhalb der Säulenelemente) kennzeichnen das arithmetische Mittel bzw. den Median. LU = Livestock Unit = Großvieheinheit. (© KTBL)

8.8 Geschlossene, zwangsgelüftete Ställe

8.8.1 Emissionsberechnung

Die Berechnung von mittleren jährlichen Ammoniak-Emissionsraten aus zwangsgelüfteten Ställen in Norddeutschland basiert auf der Analyse der Daten, die bei der Überprüfung von Abluftreinigungsanlagen durch die LUFA Nord-West gesammelt wurden. Die Volumenstromerfassung und die Bestimmung der NH_3 -Konzentrationen wurden in den Abluftkaminen der geschlossenen Ställe durchgeführt. Angaben zu Fütterung, Haltungsform und Anzahl der Tiere während der Messungen sind Tabelle 28 zu entnehmen. Das den Tieren zur Verfügung stehende Platzangebot von $0,75 \text{ m}^2$ entsprach den gesetzlichen Mindestanforderungen. Abhängig vom mittleren Tiergewicht variierten die Lüftungsraten im Sommer und Winter zwischen $36\text{--}98 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ Tier}^{-1}$ und $14\text{--}51 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ Tier}^{-1}$ gemäß DIN EN 18910. Insgesamt konnten die Datensätze von 8 Standorten im Zeitraum zwischen 2005 und 2017 für verschiedene Jahreszeiten mit über 22.000 Einzelmesswerten ausgewertet werden (Tabelle 28).

Tabelle 28: Übersicht über die analysierten zwangsgelüfteten, geschlossenen Mastschweineställe

Parameter	Betrieb							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Anzahl Tiere ¹⁾	312	1.158	3.740	520	1.276	1.512	189	960
Mastverfahren	rein-raus	kontinuierlich	rein-raus	kontinuierlich	rein-raus	rein-raus	rein-raus	kontinuierlich
Anzahl Fütterungsphasen	2	3	2	2	6	2	2	3
RAM ²⁾ -Fütterung	nein	ja	nein	nein	ja	nein	nein	ja
Mittlere jährliche NH ₃ -N-Emissionsrate (kg TP ⁻¹ a ⁻¹)	2,9	3,3	2,1	2,6	2,3	3,8	2,4	2,8

¹⁾ Zum Zeitpunkt der Messungen.

²⁾ RAM = rohprotein- und phosphorarmes Mastfutter.

Die Berechnung der NH₃-Fracht im Rohgas (g h⁻¹) basiert auf den gemessenen NH₃-Konzentrationen und erfassten Volumenströmen. Daraus ergibt sich unter Berücksichtigung der Anzahl der Masttage pro Jahr, der Tierzahl zum Zeitpunkt der Messung und des mittleren Tiergewichts, die NH₃-N-Emissionsrate (kg NH₃-N TP a⁻¹). Dabei wurden für alle Betriebe 330 Masttage pro Jahr angenommen. Um die Daten verschiedener Betriebe vergleichbar zu machen, erfolgte zudem eine Anpassung auf eine mittlere Lebendmasse von 67 kg („Gewichtsnormierung“).

8.8.2 Ergebnisse Ammoniak-Emissionsraten aus zwangsgelüfteten Ställen

Für die untersuchten geschlossenen Ställe mit Zwangsbelüftung beträgt die mittlere Emissionsrate 2,8 kg NH₃-N pro Tierplatz und Jahr. Weitere statistische Lageparameter und Bezugsgrößen der Ergebnisse sind in Tabelle 29 aufgeführt.

Spezifische Daten für mittlere Zuwachsraten (g LM d⁻¹), mittlere N-Ausscheidung (kg N TP⁻¹ a⁻¹) und mittlere TAN-Ausscheidung in den Exkrementen (kg TAN_{excr} TP⁻¹ a⁻¹) waren für die Betriebe nicht vorhanden. Es ist davon auszugehen, dass diese Werte im Bereich eines Standardmastvorgangs lagen.

Tabelle 29: Bezugsgrößen für die Ergebnisberechnungen sowie mittlere lebendmassegewichtete NH₃-N-Emissionsraten der geschlossenen, zwangsgelüfteten Mastschweineställe

Parameter	Bezugseinheit	Bezugswert
Mittlere Lebendmasse (LM) über Mastperiode	kg	67
Großvieheinheit (GV)	kg	500
1 Mastschwein = 1 Tierplatz (TP)	GV	0,1336
Anzahl Betriebe	n	8
	NH ₃ -N-Emissionsraten in kg a ⁻¹	
	GV	TP
Mittelwert	21,0	2,8
Mittlere N-Ausscheidung	3,7	0,5
Median	20,2	2,7

9 Managementempfehlungen für Schweinemastbetriebe

Fütterung

Um die Stickstoffausscheidung bei gleichzeitig bedarfsdeckender Versorgung mit Aminosäuren zu reduzieren, stehen die folgenden vier zentralen Maßnahmen im Fokus (UBA/KTBL 2021):

- Phasenfütterung: Anpassung der Fütterung an die jeweilige Lebendmasse und Leistung der Tiere
- Optimierung der Aminosäurenversorgung: Auswahl und Einsatz geeigneter Eiweißträger und synthetischer Aminosäuren entsprechend ihrer Verdaulichkeit im Dünndarm
- Futter- und Fütterungshygienestatus stabilisieren: Sicherstellung der Hygiene im Fütterungsprozess
- Futteraufbereitung und -controlling optimieren: Verbesserung der Futterqualität und Überwachung der Fütterungseffizienz

Im Rahmen des EmiDaT-Projekts wurde festgestellt, dass in sechs von acht der untersuchten Mastschweinebetrieben eine mindestens 2-phasige Fütterung praktiziert wird (siehe [Anhang 6](#)), ergänzt durch die Supplementierung mit synthetischen Aminosäuren.

Aufgrund der begrenzten Datengrundlage je Betrieb lassen sich keine detaillierten Schlüsse hinsichtlich der Einhaltung der DLG-Fütterungsempfehlungen ziehen. Dennoch wird empfohlen, diese bewährten Fütterungsrichtlinien in allen Betrieben anzuwenden.

Sauberkeit und Trockenheit

Eine regelmäßige Reinigung von verschmutzten Flächen durch das Entfernen von Kot und Harn reduziert potenzielle NH_3 -Emissionsquellen. Bei planbefestigten, eingestreuten Böden ist der Einsatz angemessener Einstreumengen essenziell (Gilhespy et al. 2009, Misselbrook und Powell 2005). Laut KTBL (2014) sollte die Einstreumenge bei Mastschweinen zur vollständigen Bindung des Harns, abhängig vom täglichen Zuwachs, zwischen bei $0,8$ bis $1,0 \text{ kg TP}^{-1} \text{ d}^{-1}$, liegen, gemittelt über die Mastperiode. Dem Management der Einstreumenge kommt daher besondere Bedeutung zu.

Einstreumaterialien können die NH_3 -Emissionen auf verschiedene Weise beeinflussen. Zum einen hat die physikalische Struktur des Einstreumaterials einen direkten Einfluss darauf, wie effektiv Harn durch Ad- oder Absorption aufgenommen wird. Zum anderen führt eine Abdeckung der Harnstellen durch eine Schicht Einstreu, die sie vor Luftturbulenzen schützt, zu längeren Diffusionswegen, die die Gase zurücklegen müssen, um an die Oberfläche der Einstreuschicht zu gelangen, was die Emissionsrate verringert. Allerdings kann es zu einem Anstieg der Emissionen kommen, wenn die Harnstellen direkt an der Oberfläche der Einstreuschicht liegen und somit eine vergrößerte Oberfläche für die Gasfreisetzung bieten.

In Ausläufen, die mit Spaltenböden ausgestattet sind, begünstigt das schnelle Abfließen des Harns in darunterliegende Güllekanäle eine Trennung von Kot und Harn. Diese Trennung trägt zu einer trockeneren Bodenoberfläche bei, wodurch generell die NH_3 -Freisetzung verringert wird. Jedoch kann es bei hohen Lufttemperaturen und starker Sonneneinstrahlung durch die damit verbundene erhöhte Verdunstung zum Antrocknen des Kot-Harn-Gemisches und je nach Tierbesatz und Auslaufgröße zum Verstopfen der Spalten kommen. Daraus resultiert die Notwendigkeit einer regelmäßigen Reinigung der Oberflächen und Spalten, um die Funktionalität des Bodensystems zu gewährleisten und Emissionen zu minimieren.

Ein rascher Abtransport der Gülle aus den Bereichen unter den Spalten in ein externes, möglichst geschlossenes Güllelager ist zur Minimierung von Emissionen unerlässlich (Chowdhury et al. 2014). Die

Verwendung von Harnrinnen und Unterflurschiebern zur Trennung von Kot und Harn unterhalb der Spaltenböden ist eine wirksame Maßnahme zur Reduzierung von Emissionen (Lachance et al. 2005).

Im EmiDaT-Projekt wurde kein statistisch signifikanter Unterschied hinsichtlich der NH_3 -Emissionen festgestellt, der auf die bauliche Gestaltung der Aufläufe (planbefestigt und eingestreut oder Spaltenböden) zurückzuführen ist. Auch der Einfluss der Überdachung auf die Emissionshöhe konnte nicht statistisch nachgewiesen werden. Die Reinigungsintervalle bei eingestreuten Ausläufen lagen laut den Landwirten bei zwei bis drei Mal pro Woche. Die Einstreumengen bewegten sich zwischen $0,1$ und $0,7 \text{ kg Tier}^{-1} \text{ d}^{-1}$, was deutlich unter den vom KTBL (2014) vorgeschlagenen Werten liegt. Dennoch verzeichnete insbesondere der Betrieb „Plan 4“ mit durchschnittlich $0,6 \text{ kg Einstreu Tier}^{-1} \text{ d}^{-1}$ im Vergleich zu den anderen Betrieben mit planbefestigten Auslaufställen niedrigere Ammoniak- und Geruchsemissionen. Dies wird auf das besonders effektive Betriebsmanagement des Landwirts zurückgeführt, bei dem sowohl Einstreu- als auch Entmistungsmanagement als sehr gut bewertet wurden. Die Schweine der Stallvariante „Plan 4“ nutzten spezielle Bereiche für die Ausscheidungen (sogenannte Kotecken), während die übrigen Flächen sowohl im Stall als auch im Auslauf, trocken gehalten werden (Abbildung 23).



Abbildung 23: Links: Ansicht des Auslaufs mit Stroheinstreu in der Variante „Plan 4“, wobei der „Kotplatz“ an der Gitterabgrenzung zur benachbarten Bucht positioniert ist. Rechts: Ansicht des sauberen Innenbereichs als planbefestigte Bucht mit Stroheinstreu in der Variante „Plan 4“. (© KTBL)

10 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen für Schweinemastbetriebe

Die durchgeführten Untersuchungen in Ställen mit Ausläufen liefern Emissionsdaten auf Basis von systematischen Messungen für alternative Haltungssysteme für Mastschweine. Diese Daten tragen dazu bei, eine Informationslücke zu schließen, die bei der Bewertung von Haltungsformen mit Auslauf für Mastschweine in Deutschland bestand. Zur Bewertung dieser Systeme wurde bislang ein Konventionswert von $2,0 \text{ kg NH}_3\text{-N TP}^{-1} \text{ a}^{-1}$ für Außenklimaställe ohne Auslauf gemäß VDI (2011) verwendet, der in der Genehmigungspraxis um 30% erhöht wurde. Der ermittelte mittlere Ammoniak-Jahresemissionswert von $2,6 \text{ kg NH}_3\text{-N TP}^{-1} \text{ a}^{-1}$ für beiden untersuchten Varianten mit planbefestigtem Boden oder Spaltenboden im Auslaufbereich zeigt, dass die untersuchten Mastschweineeställe mit Auslauf hinsichtlich NH_3 -Emissionsraten generell nicht schlechter zu bewerten sind als zwangsgelüftete Ställe.

Die Ergebnisse beziehen sich auf das Gesamtsystem „Stall mit Auslauf“. Die Haltungssysteme erwiesen sich als effektiv, da die Tiere Kot und Harn hauptsächlich im Auslauf absetzten und die Innenbereiche des Stalls sauber blieben. Ein wichtiger Aspekt für die Kontrolle der Emissionen aus verschmutzten Flächen ist ein effektives Management, das unter anderem eine regelmäßige Reinigung des Auslaufs vorsieht, unabhängig von dessen Bodengestaltung. Zudem trägt die sorgfältige Reinigung verschmutzter Flächen zur Minimierung von Geruchsemissionen im Auslaufbereich bei.

Bei Haltungssystemen mit planbefestigtem Auslauf ist es zudem notwendig, ausreichend Einstreu bereitzustellen, um die Ammoniakfreisetzung zu vermindern. Auch wenn kein eindeutiger Einfluss des Überdachungsanteils auf die Emissionshöhe ermittelt werden konnte, empfiehlt sich als bauliche Maßnahme zur Kontrolle der Emissionen eine möglichst vollständige Überdachung des Auslaufs. Eine solche Überdachung sorgt dafür, dass eingestreute Bereiche trockener bleiben und verhindert eine Wiederbefeuchtung der Auslaufflächen durch Niederschläge. Jedoch können bauliche oder baulich-technische Maßnahmen zur Emissionsminderung nur in Verbindung mit einem angepassten Management effektiv sein.

Durch die Auswertung der Messdaten aus geschlossenen, zwangsgelüfteten Ställen konnte der bisherigen Konventionswert von $3,0 \text{ kg NH}_3\text{-N TP}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (VDI 2011) mithilfe aktuellerer Produktionsdaten überprüft und aktualisiert werden. Die ermittelte Emissionsrate von $2,8 \text{ kg NH}_3\text{-N TP}^{-1} \text{ a}^{-1}$ spiegelt verschiedene Fütterungsregime (Anzahl der Fütterungsphasen) und optional die Verwendung von rohprotein- und phosphorarmem Mastfutter (RAM-Fütterung) wider. Eine Einschätzung des Einflusses der Fütterung auf die Höhe der NH_3 -Emissionen war aufgrund fehlender Daten nicht möglich.

11 Abschließende Betrachtung

Das Hauptziel des Projekts war die Festlegung von einheitlichen und transparenten Standards für die Messung von Emissionsraten. Diese Standards wurden erfolgreich etabliert und sind nun für zukünftige Messungen in Tierställen einsetzbar. Durch die enge Zusammenarbeit zwischen Messinstituten und der projektbegleitenden Arbeitsgruppe während der zahlreichen Arbeitsgruppensitzungen und Messworkshops konnte ein hohes Maß an Optimierung und Standardisierung der Messverfahren erreicht werden, wodurch die Ergebnisse vergleichbar und transparent sind.

Des Weiteren hat das Projektteam des KTBL spezifische Auswertestandards für jährliche Emissionswerte entwickelt und diese in Koordination mit den zuständigen Gremien finalisiert und veröffentlicht. Diese Standards bieten eine Grundlage für zukünftige Analysen und Datenauswertungen.

Ein weiterer bedeutender Erfolg des Projekts war die Ermittlung neuer Ammoniak-Emissionsraten und -faktoren für die Haltung von Milchkühen und für die Mast von Schweinen in Ställen mit Auslauf. Diese neu ermittelten Emissionsraten und -faktoren können für das landwirtschaftliche Emissionsinventar verwendet werden und dienen als wertvolle Ressource für Genehmigungsbehörden sowie landwirtschaftliche Beratungsstellen.

Im EmiDaT-Projekt erfolgte die Auswertung aktueller Ammoniakmessdaten aus zwangsgelüfteten Mastschweinställen, die von der LUFA Nord-West für das KTBL bereitgestellt wurden. Die Messungen der Ammoniakkonzentration fanden in den Abluftkaminen der Stallanlagen statt, bevor die Luft die Abluftreinigungsanlagen durchlief. Es handelt sich um Daten, die von acht Standorten in Norddeutschland zwischen 2005 und 2016 gesammelt wurden, wobei alle untersuchten Mastschweinställe mit Vollspaltenböden aus Beton ausgerüstet waren. Basierend auf diesen Daten ließ sich ein aktueller, durchschnittlicher Jahresemissionsrate für zwangsgelüftete Ställe mit Vollspaltenböden in der Mastschweinehaltung ermitteln. Die neueren Daten ermöglichten eine präzise Berücksichtigung des aktuellen Leistungsniveaus der Tiere, gemessen an den Lebendmassezuwachsdaten.

Darüber hinaus wurden in den Ställen Methanmessungen durchgeführt. Wie erwartet, zeigten Milchkuhställe mit interner Güllelagerung signifikant höhere Methanemissionen im Vergleich zu Ställen mit externer Güllelagerung. Obwohl auch bei Außenlagerung Methanemissionen auftreten, lassen sich diese beispielsweise durch Abdeckungen und durch Fermentation der Gülle in Biogasanlagen und die anschließende energetische Nutzung des Methans generell verringern. Bei Mastschweinställen wurden hinsichtlich der Methanemissionen keine Unterschiede festgestellt, da in der Praxis keine Lagerung von Wirtschaftsdüngern im Stall erfolgt.

Im EmiDaT-Projekt wurden speziell für die Haltung von Mastschweinen mit Auslauf Geruchsdaten gesammelt. Diese Daten befinden sich derzeit in der Diskussion bei verschiedenen Gremien und werden hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit, beispielsweise für die VDI-Richtlinie 3894 (VDI 2011), geprüft.

Die Messungen auf den Praxisbetrieben verdeutlichen den signifikanten Einfluss des Managements auf die Emissionen. Ein zentraler Ansatz zur Kontrolle der Emissionen in Mastschweinställen mit Auslauf ist das gezielte Management der insbesondere mit Harn verschmutzten Bereiche im Auslauf sowie die Überdachung des Außenbereichs, um Schutz vor Sonneneinstrahlung und Niederschlag zu gewährleisten. Auch bei Milchkuhställen hat sich gezeigt, dass eine regelmäßige Reinigung der Bewegungsflächen die Emissionen effektiv reduziert.

Im Rahmen des EmiDaT-Projekts traten neben den dargelegten Ergebnissen auch spezifische Herausforderungen und wertvolle Lernerfahrungen auf. Die Identifizierung geeigneter Praxisbetriebe für die

Durchführung der Messungen, die Auswahl und Beauftragung der Messinstitute sowie der Prozess der Datenauswertung erwiesen sich als besonders zeitintensiv. Diese Erfahrungen unterstreichen die Komplexität der Datenerhebung in realen Betriebsumgebungen und können bei der Planung und Koordination zukünftiger Forschungsvorhaben hilfreich sein.

Danksagung

Die Förderung des Projektes erfolgte aus Mitteln des Zweckvermögens des Bundes bei der Landwirtschaftlichen Rentenbank, Frankfurt am Main.

Wir danken den Mitgliedern des Projektbeirats „EmiDaT“ und der KTBL-Arbeitsgruppe „EmiDaT“ für die fachliche Unterstützung im Projekt.

Projektbeirat

Ein Projektbeirat mit Vertreterinnen und Vertretern aus Politik, Beratung, Praxis und Forschung war als beratendes Gremium eingesetzt und unterstützte die Projektkoordination bei der Prioritätensetzung, z. B. bei der Auswahl der Tierkategorien und Haltungsverfahren. Mitglieder waren:

- Ingeborg Bayer | Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft | Bonn
- Dr. Gabriele Borghardt | Umweltbundesamt | Dessau
- Prof. Dr. Reiner Brunsch | Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e.V. | Potsdam
- Prof. Dr. Wolfgang Büscher | Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn | Bonn
- Dr.-Ing. Wilfried Eckhof | Ahrensfelde
- Prof. Dr. Heinz Flessa | Thünen-Institut für Agrarklimaschutz | Braunschweig
- Frank Geburek | Betrieblicher Umweltschutz, Kreis Coesfeld | Coesfeld
- Dr. Isabel Gussek | Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung | Bonn
- Martin Kamp (Vorsitzender) | Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen | Münster
- Dr. Hans-Heinrich Kowalewsky | aktiv bis 31.12.2015
- Prof. Dr. W. Pflanz | Hochschule Weihenstephan-Triesdorf | Weidenbach
- Prof. Dr. Ir. Herman Van den Weghe | aktiv bis 31.12.2020

Projektbegleitende KTBL-Arbeitsgruppe

Bei der Auswahl der Betriebe, der Betreuung der Messungen und der Ableitung der Emissionsraten und -faktoren war eine projektbegleitende KTBL-Arbeitsgruppe beratend tätig. Mitglieder waren:

- Prof. Dr. Thomas Amon | Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e.V. | Potsdam
- Gianna Dehler | Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. | Darmstadt
- Dr. Brigitte Eurich-Menden | Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. | Darmstadt
- Susanne Gäckler | DLG e.V. | Frankfurt am Main
- apl. Prof. Dr. Eva Gallmann (Vorsitzende) | Universität Hohenheim | Stuttgart
- Prof. Dr. Eberhard Hartung | Christian-Albrechts-Universität zu Kiel | Kiel
- Thomas Heidenreich | Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie | Köllitsch
- Dr. Dieter Horlacher | Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. | Darmstadt
- Stefan Linke | Thünen-Institut für Agrartechnologie | Braunschweig
- Dr. Stefan Nesper | Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft | Freising
- Dr. Nico Ogink | Wageningen University & Research | Wageningen (Niederlande)
- Dr. Sabine Schrade | Agroscope | Ettenhausen (Schweiz)
- Dr. Manfred Trimborn | Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn | Bonn
- Dr. Ulrike Wolf | Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. | Darmstadt

Im Rahmen des Projektes kamen fünf Messinstitute zum Einsatz. Ihnen gilt unser Dank für die Durchführung der Messungen und der Weiterentwicklung der Methoden:

- LUFA Nord-West | Oldenburg
- Müller-BBM Industry Solutions GmbH | München
- DLG e.V. | Groß-Umstadt
- SGS Institut Fresenius GmbH | Longuich
- Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, LfULG | Köllitsch

Unser herzlicher Dank gilt darüber hinaus den Landwirtinnen und Landwirten, die uns im Rahmen des Projektes ihre Betriebe zur Verfügung gestellt und die Messungen so erst ermöglicht haben sowie allen Kolleginnen und Kollegen im Haus, die uns mit Rat und Tat unterstützt haben, insbesondere Ewald Grimm, Andreas Rößner, Dr. Katrin Wagner und Dr. Sebastian Wulf.

Literatur

- BMEL (2023): Statistik und Berichte des BMEL, <https://www.bmel-statistik.de/landwirtschaft/tierhaltung/rinderhaltung>, Zugriff am 11.11.2023
- Chowdhury, A.; Rong, L.; Feilberg, A.; Petersen, A. P. (2014): Review of ammonia emissions from a pig house slurry pit and outside storage: Effects of emitting surface and slurry depth. The Danish Environmental Protection Agency, Strandgade 29, Copenhagen
- DLG e. V. (2023): Rationsoptimierung und Fütterungskontrolle bei Milchkühen. DLG-Information 1/2023 des DLG-Arbeitskreis Futter und Fütterung, DLG Verlag, Frankfurt am Main, https://www.dlg.org/fileadmin/downloads/landwirtschaft/themen/ausschuesse_facharbeit/tier/futtermittel/DLG_Information_01_23.pdf, Zugriff 07.02.2024
- DLG e. V. (2022): Milchkontrolldaten zur Fütterungs- und Gesundheitskontrolle bei Milchkühen. DLG-Merkblatt 451, DLG Verlag, Frankfurt am Main, https://www.dlg.org/fileadmin/downloads/landwirtschaft/themen/publikationen/merkblaetter/dlg-merkblatt_451.pdf, Zugriff 07.02.2024
- DLG e. V. (2020): Berücksichtigung N- und P-reduzierter Fütterungsverfahren bei den Nährstoffausscheidungen von Milchkühen. DLG-Merkblatt 444, DLG Verlag, Frankfurt am Main, https://www.dlg.org/fileadmin/downloads/landwirtschaft/themen/publikationen/merkblaetter/dlg-merkblatt_444.pdf, Zugriff 07.02.2024
- DLG e. V. (2014): Bilanzierung der Nährstoffausscheidungen landwirtschaftlicher Nutztiere. Arbeiten der DLG, Band 199, DLG Verlag, Frankfurt am Main
- DLG e. V. (2001): Struktur- und Kohlenhydratversorgung der Milchkuh, DLG-Information 1/2001 des DLG-Arbeitskreis Futter und Fütterung, DLG Verlag, Frankfurt am Main
- DWD (2020): DWD Climate Data Center (CDC): Historische tägliche Stationsbeobachtungen (Temperatur, Druck, Niederschlag, Sonnenscheindauer, etc.) für Deutschland, Version v006
- Gilhespy, S. L.; Webb, J.; Chadwick, D. R.; Misselbrook, T. H.; Kay, R.; Camp, V. et al. (2009): Will additional straw bedding in buildings housing cattle and pigs reduce ammonia emissions? *Biosystems Engineering* 102(2), pp. 180–189, doi: 10.1016/j.biosystemseng.2008.10.005
- Kai, P., Adamsen, A. P., Jensen, M. L., Kasper, P., & Feilberg, A. (2017): Ammonia emission from Danish cubicle barns for dairy cows: Effect of floor type and manure scraping. *DCA-Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug*.
- KTBL (2014): Festmist- und Jaucheanfall. *KTBL-Schrift* 502, Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, S. 30–46
- Lachance, I.; Godbout, S.; Lemay, S. P.; Larouche, J.-P.; Pouliot, F. (2005): Separation of Pig Manure Under Slats: to Reduce Releases in the Environment! *ASAE Paper No. 054159*, doi: 10.13031/2013.19914
- Misselbrook, T. H.; Powell, J. M. (2005): Influence of Bedding Material on Ammonia Emissions from Cattle Excreta. *Journal of dairy science* 88(12), pp. 4304–4312, doi: 10.3168/jds.S0 022–0302(05)73116–7
- NEC-Richtlinie (2016): Richtlinie (EU)2016/2284 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 14. Dezember 2016 über die Reduktion der nationalen Emissionen bestimmter Luftschadstoffe, zur Änderung der Richtlinie 2003/35/EG und zur Aufhebung der Richtlinie 2001/81/EG
- Pedersen, S.; Blanes-Vidal, V.; Heetkamp M. J. W.; Aarnink. A. J. A. (2008): Carbon dioxide production in animal houses: A literature review. *Agricultural Engineering International: CIGR E-journal*. Manuscript BC 08 008, Vol. X
- Schep, C. A.; van Dooren, H.J. C.; Mosquera, J.; van Well, E.A.P; Keuskamp, J. A.; Ogink, N. W. M. (2022): Monitoring van methaan-, ammoniak- en lachgasemissies uit melkveestallen; Praktijkmetingen in de periode oktober 2018 – oktober 2020, 2022. Wageningen Livestock Research, Openbaar Rapport 1388.
- Schrade, S.; Keck, M.; Zeyer, K.; Emmenegger, L. (2011): Ammoniak-Emissionen von Milchviehlaufställen mit Laufhof: Im Winter weniger Verluste. *ART-Bericht Nr. 745*, Agroscope, Tänikon. <http://link.ira.agroscope.ch/de-CH/publication/27136>

- Schrade, S.; Zeyer, K.; Gyga, L.; Emmenegger, L.; Hartung, E.; Keck, M. (2012): Ammonia emissions and emission factors of naturally ventilated dairy housing with solid floors and an outdoor exercise area in Switzerland. *Atmospheric Environment* 47, pp. 183–194
- UBA (2024): <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/atmosphaerische-treibhausgas-konzentrationen#methan>, Zugriff am 25.04.2024
- UBA/KTBL (2021): Ammoniakemissionen mindern – Gute Fachliche Praxis. <https://www.ktbl.de/themen/ammoniak-emissionsminderung-gute-fachliche-praxis>, Zugriff am 22.02.2024
- VDI (2011): Emissionen und Immissionen aus Tierhaltungsanlagen – Haltungsverfahren und Emissionen Schweine, Rinder, Geflügel, Pferde. VDI Richtlinie 3894 Blatt 1, Verein Deutscher Ingenieure
- VERA (2018): VERA Test Protocol for Livestock Housing and Management Systems. Version 3, https://www.vera-verification.eu/app/uploads/sites/9/2019/05/VERA_Testprotocol_Housing_v3_2018.pdf, Zugriff am 10.04.2024
- VERA (2011): VERA Test Protocol for Livestock Housing and Management Systems. Version 2

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schema der Berechnungsschritte zur Kalkulation von Emissionsraten für Milchkuhställe nach VERA (2018)	12
Abbildung 2: Schema der Berechnungsschritte zur Kalkulation von Emissionsraten für Mastschweineeställe nach VERA (2018)	13
Abbildung 3: Schematische Darstellung der Datenerfassung, -aufbereitung und -analyse im Rahmen des Projekts (© KTBL)	15
Abbildung 4: Punktdiagramme zwischen $\text{NH}_3\text{-N}$ -Emissionsraten (Ordinate) und ausgewählten Variablen (Abszisse) gruppiert nach Ort der Güllelagerung. Die Variablen sind in folgenden Einheiten in den Diagrammen abgebildet: Temperatur in $^{\circ}\text{C}$, relative Luftfeuchte in %, Windgeschwindigkeit in m s^{-1} , Milchwahstoffgehalt in $\text{mg } 100 \text{ ml Milch}^{-1}$, Milchleistung in $\text{kg fett- und proteinkorrigierte Milch a}^{-1} \text{ Milchkuh}^{-1}$, Lauffläche pro Tier in m^2 , $\text{NH}_3\text{-N}$ -Emissionsrate ($E_{\text{NH}_3\text{-N}}$) in $\text{kg NH}_3\text{-N GV}^{-1} \text{ a}^{-1}$. (© KTBL)	18
Abbildung 5: Standorte der zwölf untersuchten Milchviehbetriebe (© KTBL)	23
Abbildung 6: Schematische Darstellung des Messaufbaus zur Entnahme von Gasproben, Bestimmung der Gaskonzentration und Erfassung meteorologischer Daten an einem Milchkuhstall. Der Aufbau umfasst eine Gassammelleitung (innen), externe Gasprobennahmestellen und eine interne Wetterstation. (© KTBL)	26
Abbildung 7: Ammoniak-Emissionsraten ($\text{kg NH}_3\text{-N TP}^{-1} \text{ a}^{-1}$) der Betriebe der untersuchten Varianten „Keller“, „Plan“ und „Spalte“ berechnet auf Basis von ungewichteten Stundenmittelwerten. Die rote und die schwarze Linie (innerhalb der Säulenelemente) kennzeichnen das arithmetische Mittel bzw. den Median (TP = Tierplatz). (© KTBL)	28
Abbildung 8: Methan-Emissionsraten ($\text{kg CH}_4 \text{ TP}^{-1} \text{ a}^{-1}$) für die untersuchten Varianten „Keller“, „Plan“ und „Spalte“ berechnet auf Basis von ungewichteten Stundenmittelwerten. Die rote und die schwarze Linie (innerhalb der Säulenelemente) kennzeichnen das arithmetische Mittel bzw. den Median (TP = Tierplatz). (© KTBL)	30
Abbildung 9: Geografische Lage der im Rahmen des EmiDaT-Projekts ausgewählten Milchkuhbetriebe mit Weidegang (© KTBL)	33
Abbildung 10: Position der Zuführungsleitung (im roten Kreis) über die das künstliche Tracergas SF_6 am Standort „Weide 3“ zugeführt wurde (© KTBL)	35
Abbildung 11: Ammoniak-Emissionsraten der jeweils 6 Untersuchungswochen der drei Betriebe der Variante „Weide“ in $\text{kg NH}_3\text{-N TP}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Links: Weide 1, Mitte: Weide 2, rechts: Weide 3; graue Boxplots: CO_2 als Tracergas, weiße Boxplots: SF_6 als Tracergas. (© KTBL)	36
Abbildung 12: Verlauf der Ammoniakkonzentrationen (ppm) im Stall während der Messwoche 1 im Betrieb „Weide 2“ (© KTBL)	37
Abbildung 13: Verlauf der Methankonzentrationen (ppm) im Stall während der Messwoche 1 im Betrieb „Weide 2“ (© KTBL)	38
Abbildung 14: Vergleich der Verschmutzung der Laufflächen im Betrieb „Keller 2“ (links) und im Betrieb „Spalte 4“ (rechts) (© KTBL)	40
Abbildung 15: Schematischer Stallquerschnitt der Variante „Plan“ mit Auslauf (hier beidseitig), planbefestigt und eingestreut. Im Stall keine Kiste, nur Abtrennung der Buchten. (© KTBL)	44
Abbildung 16: Schematischer Stallquerschnitt der Variante „Spalte“ mit abgedeckter Kiste im Stall und Spalten im Auslauf (© KTBL)	44
Abbildung 17: Geografische Lage der im Rahmen des EmiDaT-Projekts ausgewählten Mastschweineeställe mit Auslauf (© KTBL)	45
Abbildung 18: Messaufbauten an den Standorten der Bauvarianten „Plan 4“ (links) und „Plan 1“ (rechts) mit Zudosierungsleitung für SF_6 (im blauen Kreis) und Gasprobennahmeleitung (roter Kreis); die Gasprobennahmeleitung ist bei „Plan 4“ schwenkbar. (© KTBL)	48

Abbildung 19: Schematischer Messaufbau für einen Betrieb der Variante „Spalte“. Im Auslauf erfolgte die bodennahe Zudosierung des künstlichen Tracergases SF ₆ (grüne Punkte); die Probennahme zur Konzentrationsbestimmung von SF ₆ und NH ₃ in der Umgebungsluft erfolgt in dem darüberliegenden Messraum. (© KTBL)	49
Abbildung 20: Ammoniak-Emissionsraten (kg NH ₃ -N TP ⁻¹ a ⁻¹) für die untersuchten Varianten „Plan“ und „Spalte“ berechnet auf Basis von Stundenmittelwerten. Die rote Linie und die schwarze Linie (innerhalb der Säulenelemente) kennzeichnen das arithmetische Mittel bzw. den Median (TP = Tierplatz). (© KTBL)	51
Abbildung 21: Methan-Emissionsraten (kg CH ₄ TP ⁻¹ a ⁻¹) für die untersuchten Varianten „Plan“ und „Spalte“ berechnet auf Basis von ungewichteten Stundenmittelwerten. Die rote und die schwarze Linie (innerhalb der Säulenelemente) kennzeichnen das arithmetische Mittel bzw. den Median (TP = Tierplatz). (© KTBL)	53
Abbildung 22: Geruchsemissionsfrachten (GEE s ⁻¹ LU ⁻¹) für die untersuchten Varianten „Plan“ (links) und „Spalte“ (rechts). Die roten und die schwarzen Linien (innerhalb der Säulenelemente) kennzeichnen das arithmetische Mittel bzw. den Median. LU = Livestock Unit = Großvieheinheit. (© KTBL)	55
Abbildung 23: Links: Ansicht des Auslaufs mit Stroheinstreu in der Variante „Plan 4“, wobei der „Kotplatz“ an der Gitterabgrenzung zur benachbarten Bucht positioniert ist. Rechts: Ansicht des saubereren Innenbereichs als planbefestigte Bucht mit Stroheinstreu in der Variante „Plan 4“. (© KTBL)	58

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Verknüpfungskriterien der Datensätze nach ausgewählter Methode	11
Tabelle 2: Anzahl von Datensätzen und statistische Parameter für NH ₃ -N-Emissionsraten basierend auf Einzel-messwerten sowie aggregiert zu Stundenmittelwerten (Bezugseinheit: kg NH ₃ -N Milchkuh ⁻¹ a ⁻¹). Gruppierung der Daten nach Beschaffenheit des Stallbodens (planbefestigt ≙ floor_closed; Spaltenboden ≙ floor_slatted) und Ort der Güllelagerung (im Stall ≙ in; außerhalb des Stalls ≙ out).	16
Tabelle 3: Anzahl von Datensätzen und statistische Parameter für CH ₄ -Emissionsraten basierend auf Einzelmesswerten sowie aggregiert zu Tagesmittelwerten (Bezugseinheit: kg CH ₄ Milchkuh ⁻¹ a ⁻¹). Gruppierung der Daten nach Beschaffenheit des Stallbodens (planbefestigt ≙ floor_closed; Spaltenboden ≙ floor_slatted) und Ort der Güllelagerung (im Stall ≙ in; außerhalb des Stalls ≙ out).	17
Tabelle 4: Korrelationskoeffizienten nach Pearson der aufgeführten Variablen mit den NH ₃ -N-Emissionen pro Großvieheinheit (kg a ⁻¹) gruppiert nach Ort der Güllelagerung (innen oder außen)	17
Tabelle 5: Betriebsspezifische Merkmale der untersuchten Milchkuhställe Variante „Keller“	24
Tabelle 6: Betriebsspezifische Merkmale der untersuchten Milchkuhställe Variante „Plan“	24
Tabelle 7: Betriebsspezifische Merkmale der untersuchten Milchkuhställe Variante „Spalte“	25
Tabelle 8: Liste der dokumentierten betrieblichen Aktivitätsmerkmale sowie Bonitierungen und chemischen Untersuchungen	27
Tabelle 9: Verwendete Bezugseinheiten und Bezugswerte für die Ergebnisse der Milchkuh-Liegeboxenlaufställe	29
Tabelle 10: Temperaturgewichtete jährliche NH ₃ -Emissionsraten der Untersuchungsvarianten „Keller“, „Plan“ und „Spalte“. Emissionsraten mit denselben Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant (t-Test, p > 0,05).	29
Tabelle 11: Mittelwert, Standardabweichung und Median der temperaturgewichteten NH ₃ -N-Emissionsraten und NH ₃ -N-Emissionsfaktoren berechnet für die untersuchten Milchkuhställe („Keller“ + „Spalte“ + „Plan“; n = 12)	29
Tabelle 12: Verwendete Bezugseinheiten und Bezugswerte für die Ergebnisse der Milchkuh-Liegeboxenlaufställe	31
Tabelle 13: Temperaturgewichtete jährliche CH ₄ -Emissionsraten der Untersuchungsvarianten „Keller“, „Plan“ und „Spalte“. Emissionsraten mit denselben Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant (t-Test, p > 0,05)	31
Tabelle 14: Mittelwert, Standardabweichung und Median der temperaturgewichteten CH ₄ -Emissionsraten berechnet für die untersuchten Milchkuhställe („Keller“ + „Spalte“ + „Plan“; n = 12)	32
Tabelle 15: Spannen und Anzahl der Geruchskonzentrationen und -frachten in den Milchkuhställen. Detaillierter Vergleich der Varianten „Keller“ und „Plan“ (jeweils mit und ohne Weidegang) sowie „Spalte“.	32
Tabelle 16: Betriebsspezifische Merkmale der untersuchten Milchkuhställe Variante „Weide“	34
Tabelle 17: Emissionsmessungen mit CO ₂ und/oder SF ₆ als Tracergas während der sechs Messwochen in den Milchkuhbetrieben mit Weidegang („Weide 1–3“)	35
Tabelle 18: Weidegang und Melkzeiten auf den drei Milchkuhbetrieben während der Emissionsmessungen	36
Tabelle 19: Zeiträume, in denen sich die Tiere während der Messwoche 1 in Betrieb „Weide 2“ auf der Weide aufhielten.	37
Tabelle 20: Betriebsspezifische Merkmale der untersuchten Mastschweineeställe Variante „Plan“	46
Tabelle 21: Betriebsspezifische Merkmale der untersuchten Mastschweineeställe Variante „Spalte“	47

Tabelle 22: Temperatur- und lebendmassegewichtete jährliche Ammoniak-Emissionsraten der Untersuchungsvarianten „Plan“ bzw. „Spalte“. Emissionsraten mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant (t-Test, $p > 0,05$; TP = Tierplatz).	51
Tabelle 23: Bezugsgrößen der Ergebnisse und mittlere temperatur- und lebendmassegewichtete $\text{NH}_3\text{-N}$ -Emissionsraten	52
Tabelle 24: Mittelwert, Standardabweichung und Median der temperatur- und lebendmassegewichteten $\text{NH}_3\text{-N}$ -Emissionsraten und $\text{NH}_3\text{-N}$ -Emissionsfaktoren berechnet für die untersuchten Mastschweineeställe mit Auslauf (Varianten „Spalte“ und „Plan“; $n = 8$)	52
Tabelle 25: Temperaturgewichtete jährliche CH_4 -Emissionsraten der Untersuchungsvarianten „Plan“ und „Spalte“. Emissionsraten mit denselben Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant (t-Test, $p > 0,05$; TP = Tierplatz)	53
Tabelle 26: Mittelwert, Standardabweichung und Median der temperatur- und lebendmassegewichteten CH_4 -Emissionsraten berechnet für die untersuchten Mastschweineeställe mit Auslauf (Varianten „Spalte“ und „Plan“; $n = 8$)	54
Tabelle 27: Spannen und Anzahl der Geruchskonzentrationen und -frachten in den Mastschweineeställen mit Auslauf der Varianten „Plan“ und „Spalte“	54
Tabelle 28: Übersicht über die analysierten zwangsgelüfteten, geschlossenen Mastschweineeställe	56
Tabelle 29: Bezugsgrößen für die Ergebnisberechnungen sowie mittlere lebendmassegewichtete $\text{NH}_3\text{-N}$ -Emissionsraten der geschlossenen, zwangsgelüfteten Mastschweineeställe	56

Abkürzungen

a	Jahr
BVT	beste verfügbare Technik
CH ₄	Methan
CO ₂	Kohlendioxid
d	Tag
DLG e.V.	Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e.V.
E	Emission(en)
ECM	fett- und eiweißkorrigierte Milch
EF	Emissionsfaktor
excr	Ausscheidungen/Exkremente
FTIR	Fourier-Transform-Infrarotspektrometer
GC-ECD	Gaschromatograph-Elektroneneinfangdetektor
GEE	Europäische Geruchseinheit
GLMM	generalisierten gemischten linearen Modellen
GV	Großvieheinheit
HPU	Heat Production Unit
LM	Lebendmasse
LU	Livestock Unit
LUFA	Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt
ME	umsetzbare Energie
MLF	Milchleistungsfutter
MW	Mittelwert
N	Stickstoff
n	Anzahl
N ₂ O	Lachgas
NH ₃	Ammoniak
NH ₄	Ammonium
PC	CO ₂ -Produktion
RAM	rohprotein- und phosphorarmes Mastfutter
RNB	ruminale Stickstoffbilanz: Maßstab für eine ausreichende Versorgung der Pansen Mikroorganismen von Milch- und Aufzuchtrindern mit Stickstoff
SF ₆	Schwefelhexafluorid
TAN	Total Ammonical Nitrogen (TAN = NH ₃ -N + NH ₄ ⁺ -N)
TG	Tracergas
TMR	totale Mischration
TP	Tierplatz
UBA	Umweltbundesamt
VDI	Verein Deutscher Ingenieure e.V.
VERA	Verification of Environmental Technologies for Agricultural Production
VR	Ventilationsrate
ws	Windgeschwindigkeit

Anhang

Inhalt

Anhang 1 – Leistungsverzeichnis Emissionsmessungen an freigelüfteten Milchkuhställen	72
Anhang 2 – Aufbau der Installation und Vorgaben zur Messung am Mastschweinebetrieb	83
Anhang 3 – Methodenauswahl für die Datenzuordnung in der EmiDaT-Datenbank	91
Anhang 4 – Futteranalysen der zwölf untersuchten Milchkuhställe in EmiDaT	100
Anhang 5 – Milch- und Gülleanalyse der zwölf untersuchten Milchkuhställe in EmiDaT	102
Anhang 6 – Futteranalysen der acht untersuchten Mastschweine­ställe mit Auslauf in EmiDaT	104
Anhang 7 – Detailbeschreibung Ställe	106
Anhang 7.1 – Milchkuhbetriebe	106
Standort Keller 1	106
Standort Keller 2	111
Standort Keller 3	116
Standort Keller 4	121
Standort Plan 1	126
Standort Plan 2	131
Standort Plan 3	136
Standort Plan 4	141
Standort Spalte 1	146
Standort Spalte 2	151
Standort Spalte 3	156
Standort Spalte 4	161
Ergebnisse Ammoniak, Methan und weitere Kenndaten der 12 Milchkuhställe ohne Weide in EmiDaT	166
Standort Weide 1	167
Standort Weide 2	173
Standort Weide 3	179
Anhang 7.2 – Schweinemastbetriebe	185
Standort Plan 1	185
Standort Plan 2	190
Standort Plan 3	195
Standort Plan 4	200
Standort Spalte 1	205
Standort Spalte 2	210
Standort Spalte 3	215
Standort Spalte 4	220
Ergebnisse Ammoniak, Methan und weitere Kenndaten der 8 Mastschweine­ställe mit Auslauf in EmiDaT	225

Anhang 1 – Leistungsverzeichnis Emissionsmessungen an freigelüfteten Milchkuhställen

1. Vorhaben

Ermittlung verschiedener luftgetragener Emissionen aus freigelüfteten Milchviehställen zur Bereitstellung von Kenndaten und Beurteilung des Emissionsverhaltens der Nutztierhaltung. Die Daten umfassen die Emissionen von Ammoniak, Methan und Geruch sowie zahlreiche Randparameter, die zur Ableitung von Emissionsfaktoren notwendig sind.

2. Zielstellung

Die Nutztierhaltung ist im nationalen und europäischen Maßstab eine bedeutende Quelle luftgetragener Emissionen, die auf Mensch und Umwelt belästigend oder schädigend wirken können. Im Fokus stehen die Emissionen von Ammoniak und Gerüchen sowie klimawirksamen Gasen. Um die gesellschaftlich und ökologisch unerwünschten Umweltwirkungen zu verringern, unterliegt die Nutztierhaltung verschiedenen Bestimmungen zur Luftreinhaltung.

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.

Mit dem geplanten Vorhaben werden Emissionsdaten aus freigelüfteten Liegeboxenlaufställen für Milchkühe ermittelt. Hierbei werden verschiedene Haltungsverfahren untersucht, so dass sich Informationen zu besonders umweltfreundlichen Verfahren ermitteln lassen.

Das Projekt hat daher folgende Ziele:

- Ermittlung der Konzentrationen wesentlicher luftgetragener Emissionen im Zu- und Abluftstrom des Stallgebäudes
- Erhebung von Rand- und Bilanzierungsparametern zur Ableitung von Emissionsfaktoren
- Ableitung von Emissionsfaktoren

3. Rahmenbedingungen

Die Leitung, Koordination und Organisation des Forschungsprojektes erfolgt durch das Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL). Außerdem übernimmt das KTBL die wissenschaftliche Aufbereitung der Messdaten und die Ergebnisableitung.

Die durch den Bieter zu bearbeitenden Teilgebiete sind:

- Messtechnische und analytische Bearbeitung (Messaufbau, Probenahme, Messung, Analyse)
- Qualitätskontrolle der Messdaten und Durchführung von Plausibilitätsprüfungen

Die Untersuchungen sind am Standort des ausgeschriebenen Milchviehstalls durchzuführen. Der Mindestumfang der Messungen beträgt 6 Messtermine mit jeweils mindestens 24 Stunden Emissionsmessungen pro Standort (eine 24 h Messung entspricht einem Messtag). Das bedeutet mindestens 6 Mess-tage je Anlagenstandort über das Jahr verteilt. Bei der Auswahl der Messtermine muss die Aufteilung des Messjahres in drei Jahreszeiten (Sommer, Übergangszeit, Winter) beachtet werden. Die Abgrenzung der Jahreszeiten erfolgt anhand folgender Tagesmitteltemperaturen (Monatsangaben dienen als Richtwerte):

Winter: < 5 °C (Mitte November bis Mitte März)

Übergangszeit: 5–15 °C (Mitte März bis Mitte Mai und Mitte September bis Mitte November)

Sommer: > 15 °C (Mitte Mai bis Mitte September)

In jeder der drei Jahreszeiten müssen mind. an 2 nicht aufeinanderfolgenden Messtagen die Untersuchungen durchgeführt werden.

Die Festlegung der einzelnen Messzeitfenster über das zu betrachtende Jahr wird mit dem Auftraggeber (KTBL) abgestimmt. Unter Umständen ist ein zusätzlicher Messtermin (24 h Messung) erforderlich (Bedarfsposition).

Die Messungen an den 6 Terminen während eines Jahres beinhalten folgende Parameter:

- Ermittlung der Luftaustauschrate (Volumenstrom) des freigelüfteten Milchviehstalls mittels CO₂-Bilanzmethode (CIGR 2002: Report of Working Group on Climatization of Animal Houses - Heat and Moisture Production at Animal and House Levels. In S. Pedersen, and K. Sällvik (eds.) Commission International Du Genie Rural (International Commission of Agricultural Engineering, Horsens, Denmark))
- Konzentrationsmessungen der folgenden Parameter im Luv und Lee des Stalls sowie an repräsentativen Positionen im Stallgebäude:
 - Ammoniak
 - Methan
 - Kohlendioxid
 - Geruch

Die für die Emissionsmessungen installierten Messleitungen verbleiben über den gesamten Untersuchungszeitraum im Gebäude.

In der folgenden Tabelle sind die Messbedingungen und zu verwendenden Messmethoden für die jeweiligen Parameter aufgeführt:

Parameter/ Einheiten	Messbedingungen	Messmethode (Referenz zur Methode)
Ammoniak (NH₃) mg/m ³	Kontinuierlich: <ul style="list-style-type: none"> • Messdauer: 24 Stunden • kontinuierliche Messungen basierend auf Stundenwerten (24 Proben) • Probenahme: repräsentative Orte im Stall / in der Abluft; räumlich und zeitlich repräsentativ • Korrektur der Hintergrundkonzentration Diskontinuierlich: <ul style="list-style-type: none"> • integrierender Messwert für 24h 	<ul style="list-style-type: none"> • FTIR • NO_x-Konverter • Open path TDL (Laser) • Anreicherung (Impinger): Richtlinie VDI
Methan (CH₄) mg/m ³	<ul style="list-style-type: none"> • Messdauer: 24 Stunden • kontinuierliche Messungen basierend auf Stundenwerten (24 Proben) • Probenahme: repräsentative Orte im Stall / in der Abluft; räumlich und zeitlich repräsentativ • Korrektur der Hintergrundkonzentration 	<ul style="list-style-type: none"> • NDIR • FTIR • GC, FID mit CH₄-Konverter
Kohlendioxid (CO₂) mg/m ³	<ul style="list-style-type: none"> • Messdauer: 24 Stunden • kontinuierliche Messungen mit Messauflösung von 30 Sekunden • Probenahme: repräsentative Orte im Stall / in der Abluft; räumlich und zeitlich repräsentativ • Korrektur der Hintergrundkonzentration 	<ul style="list-style-type: none"> • NDIR • FTIR • PAS • GC

Fortsetzung der Tabelle auf der nächsten Seite

Parameter/ Einheiten	Messbedingungen	Messmethode (Referenz zur Methode)
Geruch OU/m ³	Diskontinuierlich: <ul style="list-style-type: none"> • mindestens 2 Proben pro Tag (dabei parallele Beprobungen an 3 Positionen im Stallgebäude, also insgesamt 6 Proben je Mess-tag) • Messdauer: 30 Minuten • Messgefäß: Nalophan; Mindestgröße 10–12 l • Probenahme: an vorgegebenen Positionen in ca. 2,5 bis 4m Höhe über dem Futtertisch 	EN 13725/AC: 2006 Air quality – Determination of odour concentration by dynamic olfactometry Methoden, die den CEN Standard erfüllen VDI-Richtlinie: VDI 3880

Für die jeweiligen Konzentrationsbestimmungen sind Messgeräte entsprechend der Spalte „Messmethode“ der obigen Tabelle auszuwählen; der Auftragnehmer ist zur regelmäßigen Überprüfung der Messgenauigkeit und zur Kalibration der Messgeräte verpflichtet. Eine Dokumentation der Messgenauigkeit ist für jeden Messtermin erforderlich und muss dem Auftraggeber ausgehändigt werden. Bei alternativen Messtechniken ist ein entsprechender Eignungsnachweis vorzulegen.

Erfassung Betriebsmanagement

Parameter/Einheit	Messbedingungen	Messmethode (Referenz zur Methode)
Anzahl der Tiere in der Stalleinheit	Datum, Anzahl der Tiere während der Messtage; Angabe der Servicezeiten	Dokumentation
Registrierung von: <ul style="list-style-type: none"> • Leerung Güllekeller/Güllekanal • Füllstand Güllekeller/-kanal • Melkzeiten • Fütterungszeiten • Entmistungszeiten • Entmistungsintervalle (auch Laufhof) • Position der Curtains 	Zeiten und Zeitspannen erfassen	Dokumentation
Verschmutzung der Bodenoberfläche (Bucht und Tiere) Verschmutzungsart, Verschmutzungsgrad	Aufnahme während der Messtage nach Bereichen (z.B. Laufgang, Fressbereich, Wartebereich vor Roboter, Liegeboxen) vor und nach Bodenreinigung durch Schieber/Roboter	Dokumentation, auch durch Fotos Kategorien der Verschmutzungsart aus Schrade et al. 2011: <ul style="list-style-type: none"> • Harn, feucht • Kot-Harn, feucht • Kot, feucht • Kot, Kot-Harn, trocken • Boden sauber

Fortsetzung der Tabelle auf der nächsten Seite

Parameter/Einheit	Messbedingungen	Messmethode (Referenz zur Methode)
Besondere Vorkommnisse, die Einfluss auf das Messergebnis haben könnten (z. B. technische Störungen, Krankheiten, abnormes Tierverhalten ...)		Dokumentation

Klimaparameter (im Stallgebäude (i), außerhalb des Gebäudes (a))

Parameter/Einheit	Messbedingungen	Messmethode
<ul style="list-style-type: none"> • Lufttemperatur (i + a) • Luftfeuchte (i + a) • Luftgeschwindigkeit (i + a) • Windrichtung (i + a) • Globalstrahlung (a) • Niederschlag (a) • Luftdruck (a) • Bodentemperatur (i) 	<ul style="list-style-type: none"> • kontinuierlich für den gesamten Zeitraum von einem Jahr • Auflösung: mindestens Minutenwerte 	Wetterstation zur Bestimmung der Wettersituation am Messobjekt

Wirtschaftsdüngerzusammensetzung

Parameter/Einheit	Messbedingungen	Messmethode (Referenz zur Methode)
<ul style="list-style-type: none"> • Menge in kg oder m³ • pH –Wert • TM • organische TM in % • N in % oder g/kg • TAN in % oder g/kg • C:N-Verhältnis 	1 Probenahme während der Messperiode (Jahreszeit, insgesamt 3 Proben im gesamten Untersuchungszeitraum)	Labormethoden, VDLUFA Probenahme: (KTBL Heft 61: Gülle – Mengen genau ermitteln, Proben richtig ziehen)

Futtermasse und Futterzusammensetzung, Trogrest in kg

Parameter/Einheit	Messbedingungen	Messmethode
• Futtermasse	An allen Messtagen	Abschätzung, ggf. Waage
<ul style="list-style-type: none"> • TM in % • ME in MJ /kg TM • NEL in MJ /kg TM • C in g/kg TM • XP (Rohprotein) in g/kg TM • XF (Rohfaser) • Aschegehalt in g/kg TM • evtl. NH₄-N in g/kg 	1 Probenahme während der Messperiode (Jahreszeit, insgesamt 3 Proben im gesamten Untersuchungszeitraum)	Labormethoden, VDLUFA Dokumentation

Der Auftragnehmer hat für jeden Standort ein in Art und Umfang **belastbares Messpunktenetz** und einen **Ablaufplan der Messungen** unter Beachtung von nachfolgenden Randbedingungen zu erarbeiten:

- Abbildung der jahreszeitlichen Charakteristik
- Abbildung von Ruhe- und Aktivitätszuständen im Stall

4. Aufgabenbeschreibung

Der Auftragnehmer hat folgende Aufgaben zu realisieren:

Vorplanung der Untersuchungen

- Auswahl der notwendigen Messstellen im Luv- und Leebereich des Stallgebäudes sowie an repräsentativen Positionen im Stall
- Konzipierung des Aufbaus der Messsysteme (unter Berücksichtigung der vom Auftraggeber vorgegebenen Mindestanzahl an Messtrassen und Messpunkten)
- Erstellung eines apparativen und zeitlichen Messplans und Festlegung der notwendigen Messzeitfenster (Anzahl und Dauer)
- Kapazitive und zeitliche Abstimmung zwischen Probenahmen und -analysen
- Verbindliche Teilnahme an der Besichtigung des Messobjekts vorab und an einem weiteren Treffen zur Qualitätssicherung im Verlauf des Untersuchungszeitraums

Sicherstellung der Emissionsmessungen

- Organisation, Leitung und Koordination der Messungen zum Vorhaben
- Vorbereitung und Durchführung der notwendigen Messungen durch den Auftragnehmer in Absprache mit dem Auftraggeber und dem Betriebsleiter
- Die unten aufgeführten allgemeinen Hinweise für die Messungen sind zu beachten:

Allgemeine Hinweise für die Messungen
<p>Probenahme (Absaugung der Luftprobe)</p> <p>Misch- bzw. Querschnittsprobe; kondensatgeschützte Teflonschläuche (ggf. Beheizung), Filter (KTBL-Schrift 401); Absorption, 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.</p>
<p>Beprobungsdauer und -reihenfolge Messstellen</p> <p>Ausreichende Messzeit vorsehen (Totzeiten, Spülzeiten, An- und Abstiegszeiten berücksichtigen bzw. verwerfen); Randomisierung der Beprobungsreihenfolge, diese sind näher zu beschreiben, siehe KTBL Schrift 401</p>
<p>Transport und Lagerung der Proben zum Labor/Messgerät, Auswertung</p> <p>Geruchsproben: Messung vor Ort/Labor, zeitlicher Abstand Probenahme-Olfaktometrie Gülleprobenahme (KTBL Heft 61: Gülle - Mengen genau ermitteln, Proben richtig ziehen)</p>
<p>Eignung des Messsystems (Dokumentation erforderlich)</p> <p>Ausführliche Gerätespezifikation beschreiben, Querempfindlichkeiten angeben, Messbereiche, Nachweis-/Bestimmungsgrenzen angeben; Verwendung geeigneter Messeinrichtungen und -verfahren, Bestimmung der Wiederfindungsrate der Messkette; Vorversuche zur notwendigen Messzeit und zur Beprobung, Vorversuche unter Laborbedingungen Empfehlung: Teilnahme an Vergleichsmessungen und Ringversuchen</p>

Fortsetzung der Tabelle auf der nächsten Seite

Kalibrierung (Dokumentation zu jeder Messperiode erforderlich) Gase: Nullpunkt und Empfindlichkeit bei jeder Messperiode Andere Parameter: abhängig von Messgerätecharakteristika, Vergleich mit Referenzsystemen Volumenstrommessung: Überprüfung im Einbau
Wartung Mindestens gemäß Herstellerangaben

Datenauswertung und Berichterstattung

Abgabe der Messdaten des jeweiligen Messtermins an den Auftraggeber unter Beachtung folgender Kriterien zur Qualitätssicherung und Ergebnisdarstellung:

- Aushändigung der gesamten Rohdaten zur Archivierung beim Auftraggeber
- Wissenschaftliche Bearbeitung der Rohdaten aus den Messungen (z.B. Stundenmittel- und Tagesmittelwerte je 24 Stunden Messtag)
- Zusammenführung und Auswertung der Mess- und Erhebungsdaten in vorgegebener Vorlage
- Abgabe eines detaillierten Messplans über den gesamten Untersuchungszeitraum innerhalb von 4 Wochen nach Beginn des Vorhabens
- Abgabe der Messberichte für einen Messtag innerhalb von 3 Wochen nach der Messung
- Vorlage des Abschlussberichts innerhalb von 6 Wochen nach dem letzten Messtermin
- Lieferung der Messberichte und des Abschlussberichtes jeweils zweifach in Papierform sowie einfach als pdf-Dokument auf Datenträger (CD oder USB-Stick). Darüber hinaus Lieferung der Rohdaten und der Auswertungsergebnisse in digital weiter bearbeitbarer Form (MS-Excel)

5. Anforderung an die Erstellung des Angebots

Die Umsetzung der einzelnen Arbeitsschritte, die angewendeten Methoden und die Maßnahmen zur Sicherung der Datenqualität sind detailliert zu erläutern. Im Angebot müssen Hinweise zum Datenschutz in geeigneter Form enthalten sein.

6. Leistungsverzeichnis

6.1 Vorplanung

Pos.	Leistung	Anzahl	Einzelpreis €	Gesamtpreis €
1	Auswahl der notwendigen Messstellen im Luv- und Leebereich des Stallgebäudes sowie an repräsentativen Positionen im Stall	1		
2	Konzipierung des Aufbaus der Messsysteme (unter Berücksichtigung der vom Auftraggeber vorgegebenen Mindestanzahl an Messtrassen und Messpunkten)	1		
3	Erstellung eines apparativen und zeitlichen Messplans und Festlegung der notwendigen Messzeitfenster (Anzahl und Dauer)	1		
4	Verbindliche Teilnahme an der Besichtigung des Messobjekts vorab	1		
5	Treffen zur Qualitätssicherung im Verlauf des Untersuchungszeitraums	1		
	Summe netto 6.1	6		*****

6.2 Installation der Messeinrichtung

Installation und Inbetriebnahme der kontinuierlichen Messtechnik, inkl. mindestens 3 Messleitungen für den gesamten Untersuchungszeitraum (1 Jahr) einschließlich erforderlicher An- und Abfahrten. Kondensation in den Messleitungen muss ggf. verhindert werden.

Pos.	Leistung	Anzahl	Einzelpreis €	Gesamtpreis €
1	Einrichtung des Stallgebäudes für die Dauer eines Jahres mit: Messleitungen Probennahmepunkte	3 5		
	Summe netto 6.2			*****

6.3 Emissionsmessungen

Die Emissionsmessungen müssen je Messtermin **mindestens 24 Stunden durchgängige Messwerte** (berechnet als Stundenmittelwerte) enthalten, zusätzliche Zeiten für Auf- und Abbau der Messtechnik sowie für Tests und Wartung sind zu berücksichtigen. Insgesamt sind 6 Termine im Verlauf eines Jahres zu kalkulieren. Die für die jeweiligen Messungen beabsichtigte Messtechnik (inkl. Gerätetyp) ist anzugeben.

Vergütung der Messungen nur bei Lieferung aller vollständig erhobenen Messungen je Messtermin.

Eine Mengeneinheit entspricht einer 24-h-Messeinheit.

An- und Abfahrten

Pos.	Leistung	Anzahl	Einzel- preis €	Gesamt- preis €
1	An- und Abfahrten	6		
	Summe		

CO₂-Messung zur Bestimmung des Volumenstroms

Pos.	Leistung	Menge	Einzel- preis €	Gesamt- preis €
1	Konzentrationsbestimmung CO ₂ je Messtag (Messauflösung: 30 Sekunden) inklusive: <ul style="list-style-type: none"> • Messvorbereitung • Installation und Inbetriebnahme der kontinuierlichen Messtechnik • Kalibrierung, Testmessungen • Verbrauchsmaterial • Auslesen und Aufbereiten der Daten für CO₂ • Deinstallation der Messtechnik 	6 Tage		
	Summe		

Messungen Ammoniak und Methan kontinuierlich

Pos.	Leistung	Menge	Einzelpreis €	Gesamtpreis €
1	Konzentrationsbestimmung von NH ₃ und CH ₄ je Messtag inklusive: <ul style="list-style-type: none"> • Messvorbereitung • Installation und Inbetriebnahme der kontinuierlichen Messtechnik • Kalibrierung, Testmessungen • Verbrauchsmaterial • Auslesen und Aufbereiten der Daten • Deinstallation der Messtechnik 	6 Tage		
	Summe		

Messung Ammoniak diskontinuierlich (Impinger)

Pos.	Leistung	Menge	Einzelpreis €	Gesamtpreis €
1	Konzentrationsbestimmung von NH ₃ in Sammelprobe je Messtag inklusive: <ul style="list-style-type: none"> • Messvorbereitung • Installation und Inbetriebnahme der Impinger • Verbrauchsmaterial • Probenanalyse im Labor • Aufbereiten der Daten • Deinstallation der Messtechnik 	6 Tage		
	Summe		

Geruchsmessung diskontinuierlich

Pos.	Leistung	Menge	Einzelpreis €	Gesamtpreis €
1	Geruchsmessung diskontinuierlich an 3 Positionen im Stallgebäude zu 2 Zeitpunkten (6 Proben je Messtag) inklusive: <ul style="list-style-type: none"> • Messvorbereitung • Installation und Inbetriebnahme der Messtechnik • olfaktorische Probenanalyse durch Probanden • Verbrauchsmaterial • Aufbereiten der Daten • Deinstallation der Messtechnik 	6 Tage		
	Summe		

Untersuchung Wirtschaftsdünger und Futtermittel

Pos.	Leistung	Menge	Einzel- preis €	Gesamt- preis €
1	Probennahme am Güllekanal (1 mal je Jahreszeit; Winter, Übergang, Sommer) inklusive Analyse von: pH-Wert, TM, organische TM [%], N [%] oder [g/kg], TAN [%] oder [g/kg], C : N-Verhältnis	3 Tage		
2	Probennahme Futter (1 mal je Saison, siehe oben) inklusive Analyse von: TM [%], ME [MJ /kg TM], NEL [MJ /kg TM], C [g/kg TM], XP (Rohprotein) [g/kg TM], XF (Rohfaser), Aschegehalt [g/kg TM], evtl. NH ₄ -N [g/kg]	3 Tage		
	Summe		

Aufnahme der Randparameter

Pos.	Leistung	Menge	Einzel- preis €	Gesamt- preis €
1	Aufnahme Betriebsmanagement (je Messtag): Anzahl der Tiere in der Stalleinheit Registrierung von: Füllstand Güllekeller/-kanal, Leerung Güllekeller/-kanal, Melkzeiten, Fütterungszeiten, Entmistungszeiten, Entmistungsintervalle, Position der Curtains, Verschmutzung der Bodenoberfläche (Verschmutzungsart, Verschmutzungsgrad) Dokumentation besonderer Vorkommnisse	6 Tage		
2	Außenklimaparameter (kontinuierlich über 1 Jahr): (Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Strahlung, Niederschlag, Luftdruck) Parameter Stallklima (kontinuierlich über 1 Jahr): (Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Bodentemperatur) Online Zugang zu den Messdaten der Klimaparameter muss von externem Standort gewährleistet sein	1 Jahr		
	Summe		

Auswertung und Berichtserfassung

Pos.	Leistung	Anzahl	Einzelpreis €	Gesamtpreis €
1	Messbericht (Lieferung in Papierform und digital als pdf) inklusive: <ul style="list-style-type: none"> • Wissenschaftlicher Bearbeitung der Rohdaten • Überführung der Daten in vorgegebene MS Excel-Maske 	6		
2	Abschlussbericht (Lieferung in Papierform und digital als pdf)	1		
	Summe			<u> </u>

Zusätzliche Leistungen auf Nachweis

Pos.	Anzahl	Leistung	Einzelpreis €	Gesamtpreis €
1		Ingenieur [€/h]		
2		Techniker [€/h]		
3		Sonstige Hilfskräfte [€/h]		
4		Fahrtkosten [€/km]		
				Gesamtpreis €
Summe LV Emissionsmessung freigelüfteter Milchviehstall				
Zuzüglich der gesetzlichen Mehrwertsteuer in Höhe von 19,00 %				
Gesamt				

Anhang 2 – Aufbau der Installation und Vorgaben zur Messung am Mastschweinebetrieb

1. Lüftungssituation und Messaufbau im Stallgebäude

Die Lüftung des Stallgebäudes erfolgt je nach Jahreszeit über das Öffnen der Fenster und ggf. über den geöffneten First.

Die Fenster werden je nach Außentemperatur in 3 Stufen gekippt und im Sommer bei Bedarf ausgehängt. Im Winter bleiben die Fenster geschlossen. Die Belüftung erfolgt dann nur noch über Tore und Schlupfe sowie den leicht geöffneten Lichtfirst.

Da es im Stallgebäude keine gezielte Ablufführung oder Lüftung über Kamine gibt, ist der Einsatz des Tracergases SF₆ im Stallgebäude erforderlich. Der Stall ist mit 2 Reihen Buchten und Mittelgang aufgebaut, daher muss auf jeder Seite eine Dosierungsleitung für SF₆ installiert werden. SF₆ wird dabei möglichst bodennah ausgebracht. Jede Bucht ist mit Dosierungseinheiten auszurüsten (siehe Abb.1, ca. 34 Düsen). Der Mindestabstand zwischen Dosierung und Detektion beträgt 1,8 m.

Die Detektion erfolgt über jeder Buchtenreihe, auf eine Detektionsleitung über dem Mittelgang wird verzichtet. Die beiden Leitungen werden als Sammelleitung gemessen.

Es muss unbedingt zu jedem Messtermin ein Ausnebeln des Gebäudes stattfinden, um die tatsächliche Luftbewegung zu veranschaulichen.

Es ist darauf zu achten, dass die Türen vollständig mit ganzen Lamellen bis zum Boden ausgestattet sind. Gegebenenfalls müssen diese erneuert werden.

2. Überdachter Auslauf

Die Dosierungspunkte sind entlang der Gitter zwischen den Buchten anzubringen. Alle 18 Buchten sind auszustatten, in jeder Bucht sind somit Düsen für das TG anzubringen. Der Aufbau muss auf beiden Gebäudeseiten gleich ausgeführt werden. In der Summe sind somit 36 Düsen zu installieren.

Die Detektion erfolgt über 1 Sammelleitung quer über den Auslauf hinweg. Es ist zu beachten, dass ein Mindestabstand von 1,8 m zwischen Injektion und Detektion eingehalten wird. Auf jeder Gebäudeseite ist eine Detektionsleitung einzurichten. Die Detektion erfolgt über Messpunkte, die auf die Außengatter aufgesteckt werden und bei Bedarf nach innen oder außen geklappt werden können, um den Entmistungsvorgang nicht zu behindern. Beide Leitungen werden als eine Sammelleitung zusammengefasst.

3. Leistungsverzeichnis

Das Verzeichnis umfasst die zu erbringenden Leistungen am Standort xxxxxxxxxxxx.

Vorplanung

Pos.	Leistung	Anzahl	Einzel- preis €	Gesamt- preis €
1	Auswahl der notwendigen Messstellen im Stallgebäude sowie im Außenbereich	1		
2	Konzipierung des Aufbaus der Messsysteme (unter Berücksichtigung der vom Auftraggeber vorgegebenen Mindestanzahl an Messtrassen und Messpunkten)	1		
3	Erstellung eines apparativen und zeitlichen Messplans und Festlegung der notwendigen Messzeitfenster (Anzahl und Dauer)	1		
4	Verbindliche Teilnahme an der Besichtigung des Messobjekts vorab	1		
5	Treffen zur Qualitätssicherung im Verlauf des Untersuchungszeitraums	1		
	Summe			

Installation der Messeinrichtung im Stallgebäude und Außenbereich

Pos.	Leistung	Anzahl	Einzel- preis €	Gesamt- preis €
1	Einrichtung des Stallgebäudes inkl. Außenbereich für die Dauer der Messungen mit: <ul style="list-style-type: none"> • Dosierungsleitungen für SF₆ im Innenbereich • Detektionssammelleitungen im Innenbereich • Detektionssammelleitungen im Außenbereich • Dosierungsleitungen für SF₆ im Außenbereich Die Kosten beinhalten das Material (Teflonleitungen, kritische Düsen, Staubfilter, Messköpfe, Kleinteile, Isolierungen)	2 2 2 2		
2	Installation der Tracergasleitungen inkl. kritischen Düsen (Edelstahl) und Metallprofile zum Schutz vor Tierverschleiß			
3	Installation von Impinger entlang einer Messleitung im Stallgebäude und im Auslauf			
4	Installation eines Messcontainers am Standort			
	Summe			

Emissionsmessungen

Die Emissionsmessungen mittels FTIR und GC-ECD müssen je Messperiode mindestens 4 Tage durchgängige Messwerte enthalten, zusätzliche Zeiten für Auf- und Abbau der Messtechnik sowie für Tests und Wartung sind zu berücksichtigen. Insgesamt sind 6 Messperioden im Verlauf eines Jahres zu kalkulieren.

Tracergasmessung (SF₆) mittels GC-ECD-Messtechnik

Pos.	Leistung	Menge	Einzel- preis €	Gesamt- preis €
1	Konzentrationsbestimmung Tracergas je Messwoche inklusive: <ul style="list-style-type: none"> • Messvorbereitung • Installation und Inbetriebnahme der kontinuierlichen Messtechnik • Kalibrierung • Testmessungen (1x 24 h Tag innen, 1x 24 h Tag außen, 0,5 Tage innen) • regelmäßige Kontrolle der Messtechnik und der Messergebnisse auf Funktionsfähigkeit bzw. Richtigkeit • Verbrauchsmaterial • Auslesen und Aufbereiten der Daten für das Tracergas • Deinstallation der Messtechnik 	6 Wochen		
	Summe			

Messung CO₂, NH₃ und CH₄ kontinuierlich mittels FTIR-Messtechnik

Pos.	Leistung	Menge	Einzel- preis €	Gesamt- preis €
1	Konzentrationsbestimmung von CO ₂ , NH ₃ und CH ₄ je Messtag inklusive: <ul style="list-style-type: none"> • Messvorbereitung • Installation und Inbetriebnahme der kontinuierlichen Messtechnik • Kalibrierung • Testmessungen (1x 24 h Tag innen, 1x 24 h Tag außen, 0,5 Tage innen, in Kombination mit SF₆-Messungen) • regelmäßige Kontrolle der Messtechnik und der Messergebnisse auf Funktionsfähigkeit bzw. Richtigkeit • Verbrauchsmaterial • Auslesen und Aufbereiten der Daten • Deinstallation der Messtechnik 	6 Wochen		
	Summe			

Messung NH₃ diskontinuierlich (Impinger)

Die unten aufgeführte Leistung enthält im Rahmen der Qualitätssicherung zusätzlich die zweimalige Durchführung einer Impinger-Beprobung während einer Messwoche über einen Zeitraum von jeweils 30 Minuten zum Vergleich der Messwerte mit dem FTIR-Gerät.

Pos.	Leistung	Anzahl	Einzel- preis €	Gesamt- preis €
1	Konzentrationsbestimmung von NH ₃ in Sammelprobe, Probenaustausch über Zeitschaltuhr, Beprobungsdauer 2x 24 h, jeweils 24 h innen und 24 h im Auslauf inklusive: <ul style="list-style-type: none"> • Messvorbereitung • Installation und Inbetriebnahme der Impinger • Verbrauchsmaterial • Probenanalyse im Labor • Aufbereiten der Daten • Deinstallation der Messtechnik 	12		
	Summe			

Umgebungsmessung NH₃ (Passivsammler)

Pos.	Leistung	Menge	Einzel- preis €	Gesamt- preis €
1	Einrichtung von 4 Umgebungsmesspunkten zur Erfassung der Hintergrundkonzentration an NH ₃ mittels Passivsammlern (Radiello o. Ä.) Expositionsdauer jeweils für eine Messwoche, an jedem Probennahmepunkt (Doppelbeprobung) Inklusive Material und Analytik	6		
	Summe			

4. Geruchsmessung diskontinuierlich

Die Probennahme für Geruch erfolgt an den Detektionssammelleitungen im Stallgebäude und im Auslauf. Dabei ist zu beachten, dass die Beprobung zeitgleich mit FTIR-Messungen abläuft.

Pos.	Leistung	Menge	Einzelpreis €	Gesamtpreis €
1	Geruchsmessung diskontinuierlich zu 3 Zeitpunkten an je einem ausgewählten Messtag in jedem Messzeitraum, zeitgleich im Stallgebäude und im Auslauf (jeweils Doppelbeprobung, also 12 Proben je Messtag) inklusive: <ul style="list-style-type: none"> • Messvorbereitung • Installation und Inbetriebnahme der Messtechnik (Beprobung aus der Sammelleitung) • olfaktorische Probenanalyse gemäß DIN EN 13725 • Verbrauchsmaterial • Lieferung Olfaktometerprotokolle und Aufbereiten der Daten 	6 Tage		
	Summe			

5. Untersuchung Wirtschaftsdünger und Futtermittel

Pos.	Leistung	Menge	Einzelpreis €	Gesamtpreis €
1	Probennahme Festmist im Auslauf (1 Mal pro Jahreszeit; Mischprobe aus verschiedenen Bereichen im gesamten Auslauf) inklusive Analyse von (Doppelbestimmung): pH-Wert, TM [g/kg], organische TM [g/kg], N [g/kg], TAN [%] oder [g/kg], C:N-Verhältnis	3		
2	Probennahme Futter (einmal je Jahreszeit) inklusive Analyse von (Doppelbestimmung): TM [%], ME [MJ /kg TM], N [%], P [%], K [%], XP (Rohprotein) [g/kg TM], XF (Rohfaser), Lysin [%], Met/Cys [%], Threonin [%], Tryptophan [%], Aschegehalt [g/kg TM] evtl. NH ₄ -N [g/kg]	3		
	Summe			

6. Randparameter

Aufnahme der Randparameter im Stallgebäude

Pos.	Leistung	Menge	Einzel- preis €	Gesamt- preis €
1	<p>Aufnahme Betriebsmanagement (innerhalb der Messwoche an 2 Messtagen im Stallgebäude und im Auslauf): Anzahl der Tiere pro Bucht</p> <p>Registrierung von:</p> <ul style="list-style-type: none"> Fütterungszeiten, Entmistungsintervalle (innen und außen), Verschmutzung der Bodenoberfläche und der Tiere (Verschmutzungsart, Verschmutzungsgrad) mittels eines Boniturrasters und -schlüssels des Auftraggebers Befragung des Stallpersonals zu aktuellen Tiergewichten (Schätzung) und Mastschnitt (Vor-, Mittel- oder Endmast) Tageszunahme $g_{LM}/(\text{Tier} \cdot d)$ für den jeweiligen Messzeitraum erfragen Installation von 4 Kameras zur Aufzeichnung der Tieraktivität im Auslauf (2 auf jeder Seite) während der Messwochen Dokumentation besonderer Vorkommnisse 	12 Tage		
	Summe			

Parameter Stallklima (kontinuierlich)

Pos.	Leistung	Menge	Einzel- preis €	Gesamt- preis €
	Erfassung von Lufttemperatur und Luftfeuchte an drei Messpunkten (Nähe Tierbereich und Abluft sowie in der Zuluft)			
	Summe			

Außenklima (jeweils pro Messwoche)

Pos.	Leistung	Menge	Einzel- preis €	Gesamt- preis €
1	Ermittlung folgender Parameter in 10 m Höhe während der Messwochen: Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Strahlung, Niederschlag, Luftdruck	6 Wochen		
	Summe			

7. Auswertung und Berichterstattung

Pos.	Leistung	Anzahl	Einzel- preis €	Gesamt- preis €
1	Berichterstellung (Lieferung in Papierform und digital) Messbericht für jeden Messzeitraum einzeln inklusive: <ul style="list-style-type: none"> • Überführung der Messdaten und erfassten Randparameter in vorgegebene MS Excel-Maske • Bereitstellung und Aufbereitung der Rohdaten sowie Durchführung erster Auswertungen der Emissionsmessungen (z.B. Anfertigen von Grafiken) • Bereitstellung der Messspektren und entsprechend notwendigen Referenzspektren bzw. Bereitstellung der Rohdaten und Kalibrierdaten sowie Umrechnungsfaktoren von Signal zu Konzentration 	6		
2	Abschlussbericht	1		
	Summe			

8. An- und Abfahrten zum Untersuchungsstandort

	Leistung	Anzahl	Einzel- preis €	Gesamt- preis €
	An- und Abfahrten zum Untersuchungsstandort	14		
	Summe			

Zusätzliche Leistungen auf Nachweis

Pos.	Anzahl	Leistung	Einzelpreis €	Gesamtpreis €
1		Ingenieur [€/h]		
2		Techniker [€/h]		
3		Sonstige Hilfskräfte [€/h]		
4		Fahrtkosten [€/km]		
				Gesamtpreis €
Summe LV Emissionsmessung freigelüfteter Mastschweinestall mit Auslauf				
Zuzüglich der gesetzlichen Mehrwertsteuer in Höhe von 19,00 %				
Gesamt				

Anhang 3 – Methodenauswahl für die Datenzuordnung in der EmiDaT-Datenbank

Nachfolgend werden die Methoden zur Zuordnung der erhobenen Messdaten (Gaskonzentration an Innen- und Außenmesspunkten; meteorologische Daten an Außen- und Innenmesspunkten) in der EmiDaT-Datenbank kurz erläutert.

1 Definitionen und schematische Darstellung der Messsituation

Definitionen

- IN GAS: Gaskonzentrationsmessung im Innenraum an der Emissionsquelle als Basismessung
- OUT GAS: Gaskonzentrationsmessungen an Außenmessstellen als Gaskonzentrationshintergrundmessung
- IN METEO: Meteorologische Daten im Innenraum an der Emissionsquelle
- OUT METEO: Meteorologische Daten (u.a. Windrichtung) an Außenmessstelle(n)
- Zeitintervall: Zuordnungszeitintervall kann vom Basismessung (IN GAS) aus rückwärts, vorwärts bzw. mittig ausgerichtet werden.
- Zeitabstand: Zeitraum zwischen Basismessung (IN GAS) und im Zeitintervall selektierten weiteren Daten

Darstellung einer Messsituation (schematisch)

In Abbildung 1 und Abbildung 2 sind die Messorte beispielhaft für einen Stallgebäude mit Stalllängsachse in West Ost-Richtung und Außenmesspunkten in nördlicher und südlicher Richtung dargestellt.

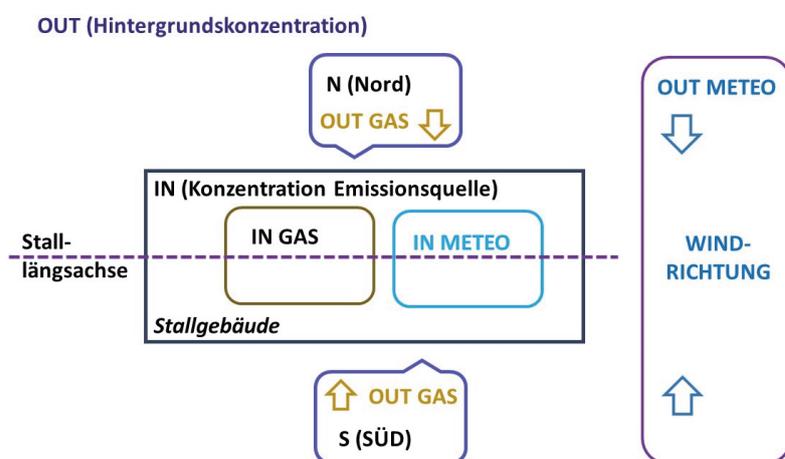


Abbildung 1: Schematische Darstellung eines Stallgebäudes mit einer Stalllängsachse von West nach Ost, wobei Messpunkte für Gaskonzentrationen außerhalb des Gebäudes sowohl nördlich als auch südlich davon angeordnet sind. Die blauen Pfeile auf der rechten Seite repräsentieren die Windrichtung bzw. den Windsektor, die braunen Pfeile in der Mitte die Standorte der Messpunkte.

Zuordnungsmethoden „WIND“

OUT (Hintergrundkonzentration)

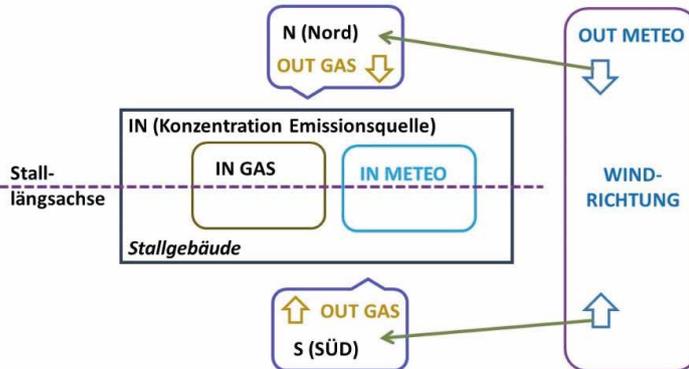


Abbildung 2: Schematische Darstellung eines Stallgebäudes mit einer Stalllängsachse von West nach Ost, wobei Messpunkte für Gaskonzentrationen außerhalb des Gebäudes sowohl nördlich als auch südlich davon angeordnet sind. Die blauen Pfeile auf der rechten Seite repräsentieren die Windrichtung bzw. den Windsektor, die braunen Pfeile in der Mitte die Standorte der Messpunkte. Die grünen Pfeile veranschaulichen beispielhaft die Zuordnung der Messpositionen (OUT GAS) in Abhängigkeit von der Windrichtung; diese Zuordnungslogik wird bei den Methoden „Wind“ verwendet.

2 Methoden zur Zuordnung der erhobenen Messdaten

In den folgenden Abschnitten werden die verfügbaren Methoden zur Zuordnung der erfassten Messdaten in der EmiDaT-Datenbank erläutert.

Time

Auswahl der „OUT GAS“-Hintergrundmessung, die sich im vorgegebenen Zeitintervall im kürzesten Zeitabstand zur „IN GAS“-Basismessung befindet (Abb. 3).

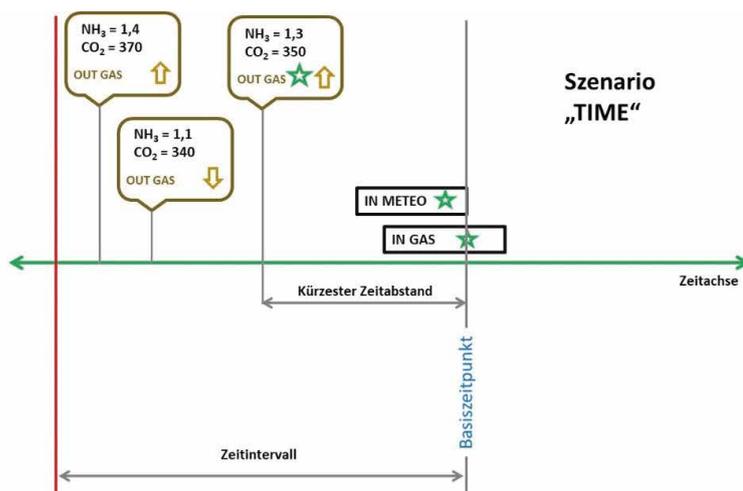


Abbildung 3: Schematische Darstellung der Selektionskriterien der Zuordnungsmethode „Szenario Time“

Selektions- bzw. Zuordnungskriterien:

- Festlegung des Zeitintervalls und der Suchrichtung (vorwärts, mittig, rückwärts) auf der virtuellen Zeitachse ausgehend vom Basiszeitpunkt.
- Kürzester Zeitabstand zwischen „OUT GAS“-Hintergrundmessung zur „IN GAS“-Basismessung im vorgegebenen Zeitintervall.
Wird keine „OUT GAS“-Hintergrundmessung im vorgegebene Zeitintervall gefunden, erfolgt keine Zuordnung zwischen „IN GAS“-Basismessung und „OUT GAS“-Hintergrundmessung.

Min Szenario MS1

Auswahl der konkurrierenden „OUT GAS“-Hintergrundmessung mit der geringsten Kohlendioxidkonzentration im vorgegebenen Zeitintervall zur „IN GAS“-Basismessung (Abb. 5).

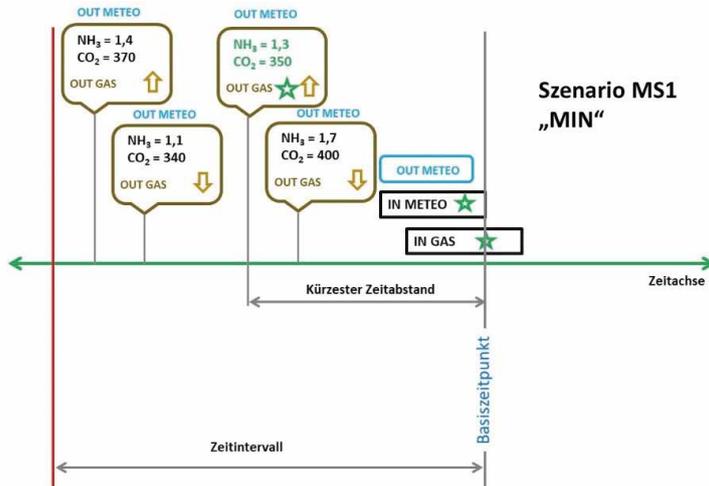


Abbildung 5: Schematische Darstellung der Selektionskriterien der Zuordnungsmethode „Min Szenario MS1“

Selektions- bzw. Zuordnungskriterien:

Im gewählten Zeitintervall müssen zwei konkurrierende „OUT GAS“-Hintergrundmessungen (z.B. „OUT GAS N (Nord)“-Hintergrundmessung nördlich von der Stalllängsachse und „OUT GAS S (Süd)“-Hintergrundmessung südlich von der Stalllängsachse) vorhanden sein.

- Auswahl des Zeitintervalls und der Suchrichtung.
- Auswahl derjenigen „OUT GAS“-Hintergrundmessung mit der geringsten CO_2 -Konzentration zwischen konkurrierenden (z.B. „OUT GAS N (Nord)“ und „OUT GAS S (Süd)“) Hintergrundmessungen bei kürzestem Zeitabstand zur „IN GAS“-Basismessung im vorgegebenen Zeitintervall.

Wind Scenario WS1

Auswahl der vordefinierten „OUT GAS“-Hintergrundmessung abhängig von der Windrichtung („OUT METEO“) zum Zeitpunkt der „IN GAS“-Basismessung im vorgegebenen Zeitintervall (Abb. 6).

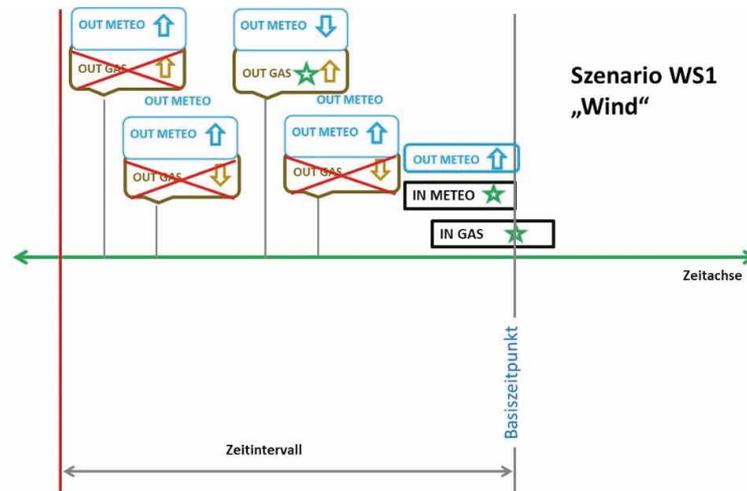


Abbildung 6: Schematische Darstellung der Selektionskriterien der Zuordnungsmethode „Wind Szenario WS1“

Selektions- bzw. Zuordnungskriterien:

- Auswahl des Zeitintervalls und der Suchrichtung.
- Vorselektion der „OUT GAS“-Hintergrundmesspunkte (z.B. „OUT GAS N (Nord)“ nördlich von der Stalllängsachse oder „OUT GAS S (Süd)“ südlich von der Stalllängsachse) auf Basis der Windrichtung („OUT METEO“) zum Zeitpunkt der „IN GAS“-Basismessung.
- Auswahl der zeitlich am nächsten zur „IN GAS“-Basismessung liegenden „OUT GAS“-Hintergrundmessung vom vorselektierten „OUT GAS“-Hintergrundmesspunkt.

Wind Scenario WS2

Auswahl der nach der Windrichtung („OUT METEO“) zum Zeitpunkt der „IN GAS“-Basismessung vordefinierten „OUT GAS“-Hintergrundmessung im vorgegebenen Zeitintervall, bei der der Wind aus dem gleichen Windsektor kommt (Abb. 7).

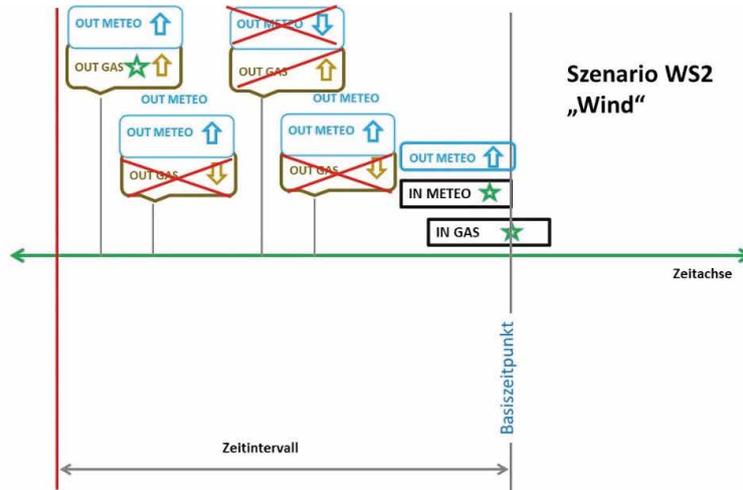


Abbildung 7: Schematische Darstellung der Selektionskriterien der Zuordnungsmethode „Wind Scenario WS2“

Selektions- bzw. Zuordnungskriterien:

- Auswahl des Zeitintervalls und der Suchrichtung.
- Vorselektion des „OUT GAS“-Hintergrundmesspunkts (z.B. „OUT GAS N (Nord)“ nördlich von der Stalllängsachse oder „OUT GAS S (Süd)“ südlich von der Stalllängsachse) auf Basis der Windrichtung („OUT METEO“) zum Zeitpunkt der „IN GAS“-Basismessung.
- Auswahl der zeitlich am nächsten zur „IN GAS“-Basismessung liegenden „OUT GAS“-Hintergrundmessung vom vorselektierten „OUT GAS“-Hintergrundmesspunkt bei der der Wind vom gleichen Windsektor kommt.

Anströmungswinkel

Voraussetzungen zur Anwendung der CO₂-Bilanzmethode sind eine ausreichende Durchströmung sowie die gleichmäßige Durchmischung der Luft im Stallgebäude. Diese Bedingungen sind bei einer Windanströmung quer zur Längsachse des Stallgebäudes erfüllt.

Da die Stalltore an den beiden Giebelseiten überwiegend geschlossen bzw. nur partiell geöffnet sind und daher zum Luftaustausch relativ wenig beitragen, werden diese Bereiche bei der Betrachtung der Anströmung nicht berücksichtigt.

Somit sind nur die Stalllängsseiten für die Durchströmung wichtig und werden dazu in Sektoren eingeteilt. Die Sektoren umfassen jeweils von der Mitte der Stalllängsachse ausgehend einen Bereich von 120° (Abb. 9). In jedem dieser Bereiche liegt ein Außenmesspunkt (A1 oder A2). Bei dem zur Emissionsberechnung verwendeten Zuordnungsalgorithmus in Abhängigkeit von der Windrichtung (Methode „WIND S2“) wird ausschließlich der Außenmesspunkt für die gemessenen Gase (v.a. CO₂, NH₃ und CH₄) verwendet, bei dem zum Zeitpunkt der Gas-Innenmessung (Basiszeitpunkt) derselbe Windrichtungssektor gemessen wird und der kürzeste Zeitabstand zur Gas-Innenmessung vorliegt.

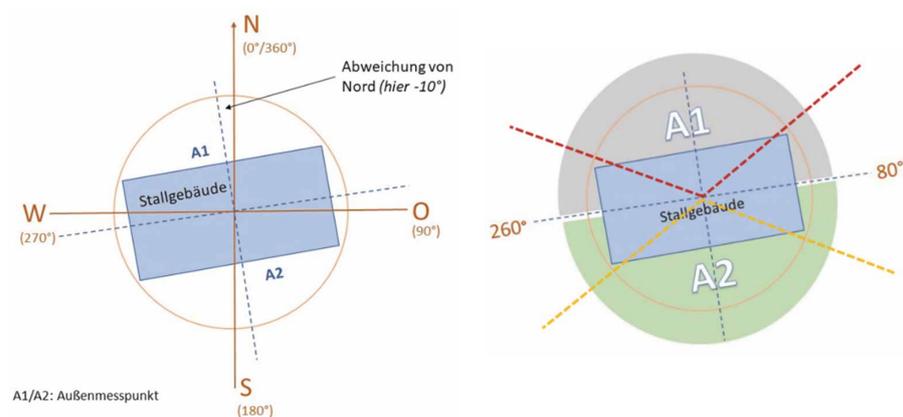


Abbildung 9: Schematische Darstellung der Aufteilung der Windrichtungssektoren eines Messstandorts. Links: Ausgehend von der Senkrechten auf die Längsachse des Stallgebäudes werden zwei gleich große Bereiche (Windsektoren) eingeteilt, in denen jeweils ein Außenmesspunkt (A1, A2) liegt. Rechts: Die gestrichelten roten bzw. gelben Linien kennzeichnen die Windsektoren mit einem Bereich von jeweils 120°, aus denen die beiden Gas-Außenwerte zugeordnet werden.

Anhang 4 – Futteranalysen der zwölf untersuchten Milchkuhställe in EmiDaT

Betrieb	MW	Beginn MW	Ende MW	Rasse	TM	pH-Wert	Rohprotein	Rohfaser	Rohfett	Rohasche	Gesamtzucker	Stärke	ME-Rind	NEL	Nutzbares Rohprotein	RNB	NH ₃ -N	Anteil NH ₃ -N am Gesamt-N	
					%		% TM	% TM	% TM	% TM	% TM	% TM	MJ/kg TM	MJ/kg TM	g/kg TM	g/kg TM	mg/kg TM	% TM	
Keller 1																			
	1	17.02.17	27.02.17	HF SBT/RBT	40,3	4,2	15,6	19,8	3,8	8,3	3,9	16,4	11,1	6,8	150	1,0	234	0,9	
	3	20.06.17	28.06.17	HF SBT/RBT	40,5	4,7	15,5	20,5	4,0	7,5	2,6	19,0	11,1	6,7	148	0,9	411	1,7	
	5	17.10.17	25.10.17	HF SBT/RBT	40,5	4,3	13,8	18,6	3,6	7,2	5,2	20,0	11,1	6,8	146	-1,3	222	1,1	
Keller 2																			
	2	19.02.18	26.02.18	HF SBT	34,9	4,2	14,4	23,0	4,3	8,3	2,6	12,9	10,6	6,4	142	0,3	n.b.	n.b.	
	4	17.09.18	27.09.18	HF SBT	36,4	4,9	16,0	24,6	4,2	10,0	<1,5	8,1	10,4	6,3	143	2,7	n.b.	n.b.	
	8	01.04.19	08.04.19	HF SBT	38,3	n.b.	15,2	24,9	n.b.	9,8	<1,5	12,1	10,1	6,0	138	2,3	n.b.	n.b.	
Keller 3																			
	2	05.12.17	13.12.17	HF SBT/RBT	27,2	4,2	13,1	26,6	4,7	11,5	<1,5	4,6	9,8	5,8	131	0,1	476	2,3	
	4	25.04.18	02.05.18	HF SBT/RBT	29,8	4,1	14,0	22,5	4,0	13,9	1,6	n.b.	9,8	5,9	129	1,8	664	3,0	
	6	08.08.18	15.08.18	HF SBT/RBT	31,3	4,5	13,4	22,0	4,3	9,5	<1,5	15,3	10,7	6,5	141	-1,1	692	3,2	
Keller 4																			
	1	22.11.17	29.11.17	HF SBT/RBT	35,2	4,5	17,8	19,1	4,6	8,0	3,9	17,8	11,4	7,0	158	3,3	331	1,2	
	3	05.03.18	12.03.18	HF SBT/RBT	37,3	4,6	16,5	19,2	4,3	8,0	3,6	22,8	11,4	6,9	154	1,7	401	1,5	
	5	02.07.18	09.07.18	HF SBT/RBT	34,5	4,5	16,9	15,8	4,5	7,3	<1,5	26,1	11,8	7,3	160	1,4	383	1,4	
Plan 1																			
	1	06.02.17	15.02.17	Fleckvieh	43,5	n.b.	6,6	15,2	3,5	2,9	n.b.	n.b.	10,6	6,4	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	
	2	04.04.17	10.04.17	Fleckvieh	41,0	n.b.	12,3	26,0	3,2	6,8	n.b.	n.b.	9,6	5,6	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	
	3	22.06.17	29.06.17	Fleckvieh	35,8	n.b.	16,1	21,3	4,0	8,2	n.b.	n.b.	11,0	6,7	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	
Plan 2																			
	1	20.09.17	29.09.17	Fleckvieh	36,7	n.b.	15,3	22,8	3,1	7,5	n.b.	15,8	10,7	6,4	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	
	3	08.02.18	19.02.18	Fleckvieh	32,9	n.b.	17,4	12,8	3,8	8,0	n.b.	15,2	12,1	7,5	n.b.	n.b.	455	5,0	
	5	23.07.18	31.07.18	Fleckvieh	38,2	n.b.	21,2	16,4	4,8	7,4	n.b.	19,5	11,8	7,2	n.b.	n.b.	643	5,0	

Fortsetzung der Tabelle auf der nächsten Seite

Betrieb	MW	Beginn MW	Ende MW	Rasse	TM	pH-Wert	Rohprotein	Rohfaser	Rohfett	Rohasche	Gesamtzucker	Stärke	ME-Rind	NEL	Nutzbare Rohprotein	RNB	NH ₃ -N	Anteil NH ₃ -N am Gesamt-N	
					%		% TM	% TM	% TM	% TM	% TM	% TM	MJ/kg TM	MJ/kg TM	g/kg TM	g/kg TM	mg/kg TM	% TM	
Plan 3																			
	2	26.02.18	12.03.18	HF SBT/RBT	41,6	4,8	15,8	18,4	3,7	7,9	9,2	15,9	11,3	6,9	152	1,0	n.b.	n.b.	
	5	30.10.18	08.11.18	HF SBT/RBT	47,3	5,5	12,8	22,1	2,8	7,8	<1,5	19,5	10,0	6,0	132	-0,8	n.b.	n.b.	
	7	22.03.19	29.03.19	HF SBT/RBT	39,1	5,0	17,3	18,2	4,3	9,4	1,9	17,1	11,5	7,1	158	2,5	n.b.	n.b.	
Plan 4																			
	1	30.08.18	19.09.18	HF SBT	38,6	4,5	16,3	18,9	4,1	7,4	2,0	23,1	11,4	6,9	160	1,0	1.100	4,1	
	3	14.01.19	31.01.19	HF SBT	41,9	4,4	15,9	19,6	3,5	6,9	2,2	22,6	11,1	6,7	150	1,0	1.501	5,8	
	6	28.05.19	17.06.19	HF SBT	40,2	4,4	15,0	19,2	3,5	8,0	2,4	21,3	11,1	6,8	150	0	1.216	5,0	
Spalte 1																			
	0	30.01.17	06.02.17	Fleckvieh	41,4	n.b.	15,9	23,1	3,2	26,4	n.b.	n.b.	10,4	6,5	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	
	1	27.03.17	04.04.17	Fleckvieh	43,3	n.b.	10,8	26,1	2,6	10,2	n.b.	n.b.	9,0	5,3	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	
	3	08.08.17	16.08.17	Fleckvieh	39,5	n.b.	14,2	23,5	3,4	9,0	n.b.	n.b.	10,3	6,2	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	
Spalte 2																			
	1	07.09.17	15.09.17	Fleckvieh	33,6	n.b.	12,3	22,2	3,4	7,3	n.b.	16,9	11,1	6,8	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	
	3	31.01.18	08.02.18	Fleckvieh	35,4	n.b.	14,8	17,2	3,5	7,8	n.b.	11,0	11,3	6,9	n.b.	n.b.	336	4,0	
	6	15.08.18	23.08.18	Fleckvieh	41,1	n.b.	12,4	23,1	3,5	7,1	n.b.	17,9	10,2	6,1	n.b.	n.b.	431	5,3	
Spalte 3																			
	2	31.07.17	08.08.17	HF SBT	40,9	n.b.	17,2	21,1	3,2	7,2	n.b.	n.b.	10,8	6,5	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	
	3	07.11.17	15.11.17	HF SBT	36,5	n.b.	16,1	19,0	4,3	6,6	n.b.	n.b.	11,4	6,9	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	
	5	01.11.18	12.11.18	HF SBT	40,3	4,3	17,2	17,4	3,5	6,4	n.b.	n.b.	11,4	7,0	n.b.	n.b.	300	n.b.	
Spalte 4																			
	1	31.01.19	07.02.19	Fleckvieh	37,6	4,6	14,1	22,0	3,2	10,4	7,8	17,3	10,3	6,2	134	1,1	275	3,8	
	3	08.04.19	17.04.19	Fleckvieh	41,8	4,4	14,9	22,0	3,0	11,0	6,7	4,3	10,1	6,0	133	2,5	366	3,2	
	5	20.08.19	27.08.19	Fleckvieh	42,7	4,6	16,9	21,8	4,0	9,6	7,2	11,6	11,1	6,7	147	3,5	692	6,0	

MW = Messwoche TM = Trockenmasse ME = umsetzbare Energie NEL = Nettoenergie Laktation RNB = ruminale Stickstoffbilanz
n.b. = nicht bestimmt HF = Holstein Friesian SBT = Schwarzbunt RBT = Rotbunt

Anhang 5 – Milch- und Gülleanalyse der zwölf untersuchten Milchkuhställe in EmiDaT

Betrieb	MW	Datum Beginn Mess-woche	Datum Ende Mess-woche	Rasse	Milchleistung Mittelwert Herde kg/(Tier · d)	Milchprotein Mittelwert Herde %	Milchfett Mittelwert Herde %	Milchharnstoff Mittelwert Herde mg/100 ml	Gülle pH-Wert	Gülle TM %	Gülle Gesamt-N g/kg TM	Gülle TAN (Ammoniak-Stickstoff) %
Keller 1												
	1	17.02.2017	27.02.2017	HF SBT/RBT	31,3	3,5	4,1	19,4	7,0	7,6	4,7	2,0
	3	20.06.2017	28.06.2017	HF SBT/RBT	31,1	3,4	3,9	22,5	7,2	7,2	3,5	1,4
	5	17.10.2017	25.10.2017	HF SBT/RBT	29,3	3,6	4,1	15,0	7,4	7,9	4,7	2,0
Keller 2												
	2	19.02.2018	26.02.2018	HF SBT	30,2	3,3	3,9	22,0	7,2	8,8	4,4	2,2
	4	17.09.2018	27.09.2018	HF SBT	28,0	3,2	3,8	19,0	7,5	5,0	5,7	3,9
	8	01.04.2019	08.04.2019	HF SBT	30,5	3,3	3,9	23,5	7,1	8,6	4,1	1,7
Keller 3												
	2	05.12.2017	13.12.2017	HF SBT/RBT	29,0	3,3	4,2	27,2	7,2	8,3	5,5	1,5
	4	25.04.2018	02.05.2018	HF SBT/RBT	35,0	3,3	3,9	26,7	7,3	9,5	4,4	1,9
	6	08.08.2018	15.08.2018	HF SBT/RBT	33,0	3,2	3,6	29,5	7,6	9,2	5,0	2,1
Keller 4												
	1	22.11.2017	29.11.2017	HF SBT/RBT	35,4	3,6	4,2	25,5	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
	3	05.03.2018	12.03.2018	HF SBT/RBT	35,3	3,6	4,1	21,1	7,2	7,9	6,0	2,5
	5	02.07.2018	09.07.2018	HF SBT/RBT	36,1	3,4	3,4	19,5	7,3	7,7	5,0	2,3
Plan 1												
	1	06.02.2017	15.02.2017	Fleckvieh	22,9	3,6	4,4	24,1	n.b.	12,4	5,0	3,2
	2	04.04.2017	10.04.2017	Fleckvieh	22,4	3,6	4,3	21,1	6,3	9,9	4,3	2,0
	3	22.06.2017	29.06.2017	Fleckvieh	26,0	3,6	3,8	23,3	6,4	8,3	3,7	1,7
Plan 2												
	1	20.09.2017	29.09.2017	Fleckvieh	28,0	3,5	4,2	22,0	8,1	11,3	3,8	0,6
	3	08.02.2018	19.02.2018	Fleckvieh	31,2	3,7	4,1	30,5	6,9	7,8	4,9	2,3
	5	23.07.2018	31.07.2018	Fleckvieh	30,9	3,5	4,0	34,4	7,2	9,6	3,9	1,6

Fortsetzung der Tabelle auf der nächsten Seite

Betrieb	MW	Datum Beginn Mess-woche	Datum Ende Mess-woche	Rasse	Milchleistung Mittelwert Herde	Milchprotein Mittelwert Herde	Milchfett Mittelwert Herde	Milchharn- stoff Mittelwert Herde	Gülle pH- Wert	Gülle TM	Gülle Gesamt- N	Gülle TAN (Ammoniak- Stickstoff)
					kg/(Tier · d)	%	%	mg/100 ml		%	g/kg TM	%
Plan 3												
	2	26.02.2018	12.03.2018	HF SBT/RBT	32,5	3,5	4,3	17,5	6,9	6,7	4,2	2,0
	5	30.10.2018	08.11.2018	HF SBT/RBT	33,0	3,5	4,1	20,0	6,6	11,1	3,6	0,6
	7	22.03.2019	29.03.2019	HF SBT/RBT	36,0	3,5	4,2	27,0	7,1	13,3	4,1	1,9
Plan 4												
	1	30.08.2018	19.09.2018	HF SBT	35,5	3,4	4,0	21,0	7,0	7,5	1,9	1,0
	3	14.01.2019	31.01.2019	HF SBT	38,0	3,4	3,8	23,5	8,2	12,3	4,6	2,1
	6	28.05.2019	17.06.2019	HF SBT	36,3	3,4	3,8	25,0	7,4	11,1	3,6	1,3
Spalte 1												
	0	30.01.2017	06.02.2017	Fleckvieh	26,3	3,5	4,2	24,0	6,9	12,6	4,5	1,7
	1	27.03.2017	04.04.2017	Fleckvieh	24,7	3,5	3,9	22,0	6,9	12,2	4,5	2,0
	3	08.08.2017	16.08.2017	Fleckvieh	24,8	3,5	3,8	24,0	7,0	12,0	5,2	2,1
Spalte 2												
	1	07.09.2017	15.09.2017	Fleckvieh	27,2	3,6	4,2	23,2	8,2	11,7	3,7	1,5
	3	31.01.2018	08.02.2018	Fleckvieh	29,5	3,6	4,2	23,1	8,7	10,0	3,2	1,0
	5	16.07.2018	23.07.2018	Fleckvieh	26,0	3,5	4,1	20,0	8,7	8,6	4,3	1,5
	6	15.08.2018	23.08.2018	Fleckvieh	28,0	3,4	4,0	18,5	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Spalte 3												
	2	31.07.2017	08.08.2017	HF SBT	32,9	3,3	3,7	22,5	6,5	11,9	3,7	0,7
	3	07.11.2017	15.11.2017	HF SBT	33,8	3,4	3,8	20,0	7,7	11,8	3,7	1,3
	5	01.11.2018	12.11.2018	HF SBT	32,8	3,5	4,0	23,7	6,7	9,7	4,3	1,9
Spalte 4												
	1	31.01.2019	07.02.2019	Fleckvieh	27,5	3,6	4,1	23,0	8,5	10,2	4,1	1,4
	3	08.04.2019	17.04.2019	Fleckvieh	27,7	3,4	3,8	24,0	8,3	6,9	4,7	2,0
	5	20.08.2019	27.08.2019	Fleckvieh	25,5	3,6	4,2	22,0	8,4	9,9	4,4	1,8
	6	27.09.2019	07.10.2019	Fleckvieh	27,4	3,4	4,1	25,0	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

MW = Messwoche

n.b. = nicht bestimmt

TM = Trockenmasse

TAN = Total Ammonical Nitrogen (TAN = NH₃-N + NH₄⁺-N)

HF = Holstein Friesian

SBT = Schwarzbunt

RBT = Rotbunt

Anhang 6 – Futteranalysen der acht untersuchten Mastschweine­ställe mit Auslauf in EmiDaT

Proben- nahme- datum	Phasen- fütte- rung: ja/ nein; Anzahl	Mastab- schnitt	TM	pH	ME	N	P	K	Roh- asche	Roh- protein (XP)	Roh- fett	Roh- faser (XF)	Stärke	Lysin	Met/Cys	Threo- nin	Trypto- phan
			%		MJ/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg
Plan 1																	
15.07.19	nein 1	k.A.	88,2	n.b.	13,2	22,1	4,4	6,5	36	138	29	42	492	7,6	1,9	5,3	1,6
12.11.19	nein 1	k.A.	88,3	6,2	n.b.	24,5	4,9	6,8	46	153	26	45	480	8,6	2,1	6,2	1,8
10.12.19	nein 1	k.A.	88,1	6,4	13,0	23,8	4,7	6,7	41	147	33	46	449	8,9	2,2	5,7	1,8
Plan 2																	
03.02.21	ja 2	Endmast	87,8	6,4	12,9	19,7	4,0	6,2	32	123	25	44	495	6,9	2,3	5,0	1,6
03.02.21	ja 2	Vormast	88,5	6,6	13,3	28,0	4,7	8,9	46	175	27	39	430	11,5	3,3	7,4	2,3
09.03.21	ja 2	Endmast	89,1	6,4	13,0	26,7	5,2	8,1	52	167	27	46	431	12,7	3,1	7,3	2,2
09.03.21	ja 2	Vormast	88,7	6,5	13,1	28,8	4,7	9,5	46	180	26	46	418	11,4	3,3	7,3	2,3
09.03.21	ja 2	Mittel- mast	89,1	6,6	13,0	29,8	4,8	9,5	53	186	25	46	400	13,5	3,5	7,9	2,5
14.06.21	ja 2	Vormast	88,9	6,5	13,5	33,1	5,0	9,8	48	207	26	37	397	13,4	3,7	8,5	3,0
14.06.21	ja 2	Mittel- /End- mast	88,9	6,4	13,1	24,7	4,6	6,5	47	154	27	42	458	9,6	3,1	6,3	2,1
Plan 3																	
25.11.19	nein 1	k.A.	n.b.	6,2	13,4	24,8	4,7	7,1	47	155	34	38	454	10,7	2,8	7,0	2,0
04.02.20	nein 1	k.A.	n.b.	6,4	13,0	21,8	4,7	6,7	37	137	33	46	449	9,0	2,2	5,7	1,8
19.05.20	nein 1	k.A.	n.b.	6,0	13,2	26,0	4,9	8,3	46	162	33	43	415	10,5	2,9	6,8	2,0
Plan 4																	
04.02.20	ja 3	k.A.	88	5,7	13,6	29,0	4,9	7,4	42	181	41	42	n.b.	6,0	3,3	3,0	1,2
16.04.20	ja 3	k.A.	88,5	5,8	13,2	24,8	5,1	8,1	48	155	44	50	n.b.	6,0	3,4	3,7	1,1
28.05.20	ja 3	k.A.	86,7	5,8	12,6	23,1	4,7	7,3	36	144	22	52	n.b.	5,5	3,6	3,8	1,2

Fortsetzung der Tabelle auf der nächsten Seite

Proben- nahme- datum	Phasen- fütte- rung: ja/ nein; Anzahl	Mastab- schnitt	TM	pH	ME	N	P	K	Roh- asche	Roh- protein (XP)	Roh- fett	Roh- faser (XF)	Stärke	Lysin	Met/Cys	Threo- nin	Trypto- phan
			%		MJ/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg
Spalte 1																	
09.03.21	ja 2	k.A.	88,8	6,5	13,1	22,1	4,1	6,8	50	138	25	38	485	10,6	2,6	6,1	1,9
16.03.21	ja 2	k.A.	89,1	6,4	13,2	21,9	4,2	6,9	49	139	25	37	490	11	2,6	6,2	2,0
31.03.21	ja 2	k.A.	89,1	6,4	13,0	21,9	4,3	6,6	49	137	25	36	468	10,4	2,5	6,1	1,8
01.06.21	ja 2	k.A.	88,3	6,5	13,2	23,7	3,9	6,6	35	148	30	44	468	8,0	3,0	5,5	2,0
07.09.21	ja 2	k.A.	88,3	6,5	13,1	23,2	4,5	6,2	49	145	24	38	495	10,4	2,8	5,8	2,0
Spalte 2																	
20.01.21	ja 2	Vormast	89,2	6,4	13,8	24,4	4,5	6,8	45	165	33	32	496	11,1	3,0	6,8	2,0
20.01.21	ja 2	Endmast	89,1	6,3	13,6	23,8	4,7	6,5	52	149	32	30	480	10,7	2,8	6,1	1,8
13.04.21	ja 2	Mittel- mast	89,5	6,5	13,6	21,6	4,1	5,6	44	135	35	36	497	9,1	2,6	5,7	1,6
13.04.21	ja 2	Endmast	89,2	6,3	13,4	18,2	4,7	5,0	47	114	32	33	524	8,0	2,4	4,7	1,3
17.05.21	ja 2	Vormast	88,1	6,3	14,2	24,1	3,8	6,4	25	150	39	26	523	7,3	2,5	5,4	1,9
17.05.21	ja 2	Mittel- mast	89,6	6,3	14,3	24,3	3,6	6,5	25	152	36	30	517	7,2	2,5	5,5	1,9
17.05.21	ja 2	Endmast	89,5	6,2	13,5	25,2	4,9	6,2	55	157	35	37	470	10,5	3,3	6,8	2,1
Spalte 3																	
05.02.21	ja 3	k.A.	88,3	6,0	13,4	26,0	4,2	6,8	43	164	35	40	465	8,9	2,6/3,2	5,7	0,2
08.03.21	ja 3	k.A.	88,3	5,9	13,3	26,0	4,1	6,6	45	163	36	41	458	9,6	2,6/3,0	6,0	0,2
04.06.21	ja 3	k.A.	89,1	6,0	13,7	26,0	4,0	6,6	40	162	36	35	464	9,2	2,7/3,2	5,9	0,2
05.07.21	ja 3	k.A.	89,2	5,9	13,8	26,0	4,4	6,4	45	164	42	36	454	9,8	2,8/3,3	5,9	0,2
16.08.21	ja 3	Vormast	88,1	6,0	13,4	26,0	4,4	6,3	40	165	46	46	450	9,6	2,8/3,3	6,2	0,2
16.08.21	ja 3	Haupt- mast	88,6	5,8	13,3	26,0	4,5	6,9	46	153	30	40	448	9,0	2,3/3,0	6,2	0,2
05.11.21	ja 3	Vormast	88,1	5,6	13,0	25,0	4,7	7,1	47	158	28	42	441	8,7	2,0/3,1	5,2	0,2
05.11.21	ja 3	Haupt- mast	87,4	6,0	12,4	21,0	3,9	6,0	39	133	46	63	416	8,2	2,6/2,8	5,2	0,2
Spalte 4																	
15.03.21	ja 2	Vormast	88,2	5,8	12,9	24,4	5,0	7,5	45	153	28	45	420	10,9	2,5/3,2	6,5	1,8
15.03.21	ja 2	Endmast	88,1	6,1	12,8	22,7	5,3	7,2	45	141	29	49	411	9,1	2,4/3,3	5,8	1,7
09.09.21	ja 2	Vormast	87,6	5,9	12,8	24,1	4,9	7,1	46	151	28	46	438	11,0	2,7/3,3	6,3	1,8
09.09.21	ja 2	Endmast	88,9	6,1	12,8	22,9	5,2	7,3	44	143	28	48	415	9,5	2,4/3,3	5,8	1,7
17.11.21	ja 2	Vormast	88,3	5,8	13,0	25,6	5,2	8,0	44	160	27	45	413	11,0	2,6/3,3	6,7	2,0
17.11.21	ja 2	Endmast	88,3	6,0	13,7	22,0	5,5	7,4	45	137	29	54	403	8,7	2,2/3,1	5,6	1,8

TM Trockenmasse ME Umsetzbare Energie k. A. = keine Angabe n.b. = nicht bestimmt Met = Methionin Cys = Cystein
Alle Angaben beziehen sich auf die Trockenmasse im Futter.

Anhang 7 – Detailbeschreibung Ställe

Anhang 7.1 – Milchkuhbetriebe

Standort Keller 1

Standortbeschreibung

Tabelle 1: Kurzprofil des Standorts Keller 1

Haltungs- und Entmistungsverfahren	Einheit	Boxenlaufstall mit Güllekeller, Laufgang mit Spaltenboden
Baujahr Stallgebäude		2013
Tierplätze	n	150
Grundfläche	m ²	1044
Rasse		Schwarzbunt
Melksystem		Roboter
Bodenreinigung		Roboter
Reinigungsfrequenz	n	16x / Tag
Tiefe Güllekanäle	m	2

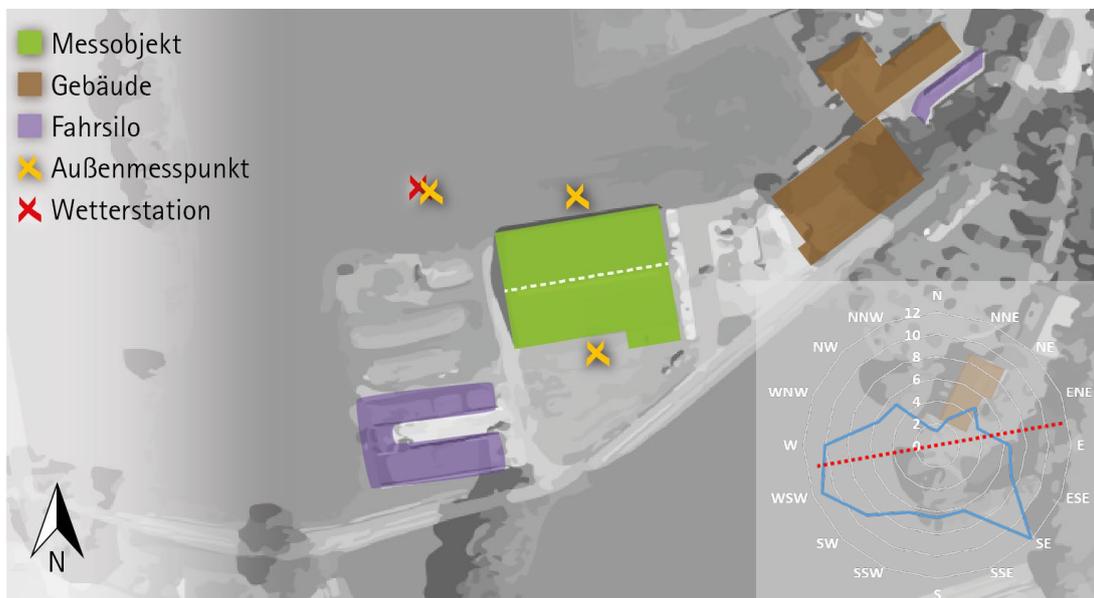


Abbildung 1: Luftbildkarte Standort Keller 1 (Luftbild: © Google, verändert). Die Windrose zeigt die prozentuale Häufigkeit der Windrichtungen (Messwerte am Standort); die rote Linie zeigt die Ausrichtung der Firstachse des Stallgebäudes. (© KTBL)



Abbildung 2: Innenansicht Stall am Standort Keller 1 (© KTBL)

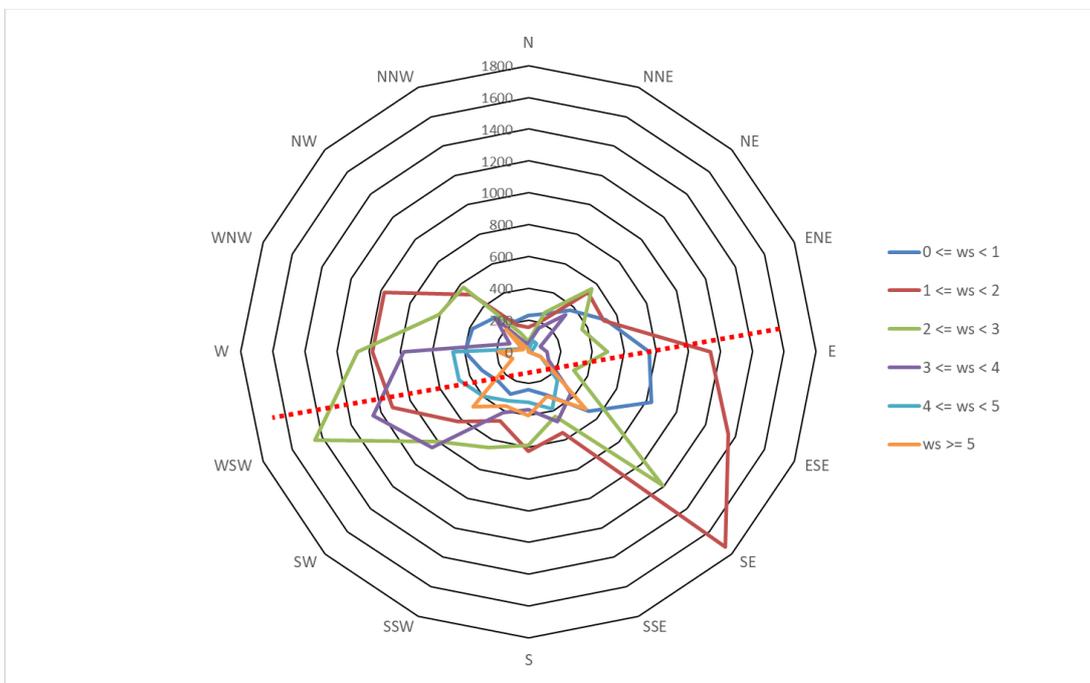


Abbildung 3: Häufigkeit (n) der Windgeschwindigkeitsklasse (außen, in $m\ s^{-1}$) nach Windrichtung ($^{\circ}$) am Standort Keller 1 (© KTBL)

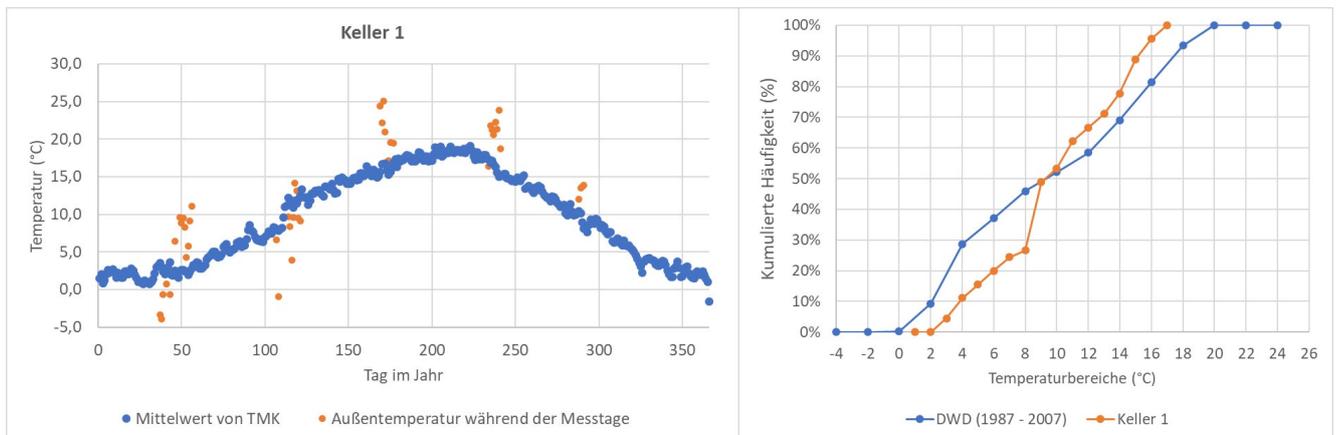


Abbildung 4: Links: Tagesmittel der Außentemperaturen zum Zeitpunkt der Messung (orange) und langjährige Tagesmitteltemperaturen (blaue Punkte, TMK = Tagesmittel Klimastation) der nächstgelegenen DWD-Wetterstation. Rechts: kumulierte Häufigkeit (%) der gemessenen Tagesmitteltemperaturen. (© KTBL)

Emissionsraten in den Messwochen

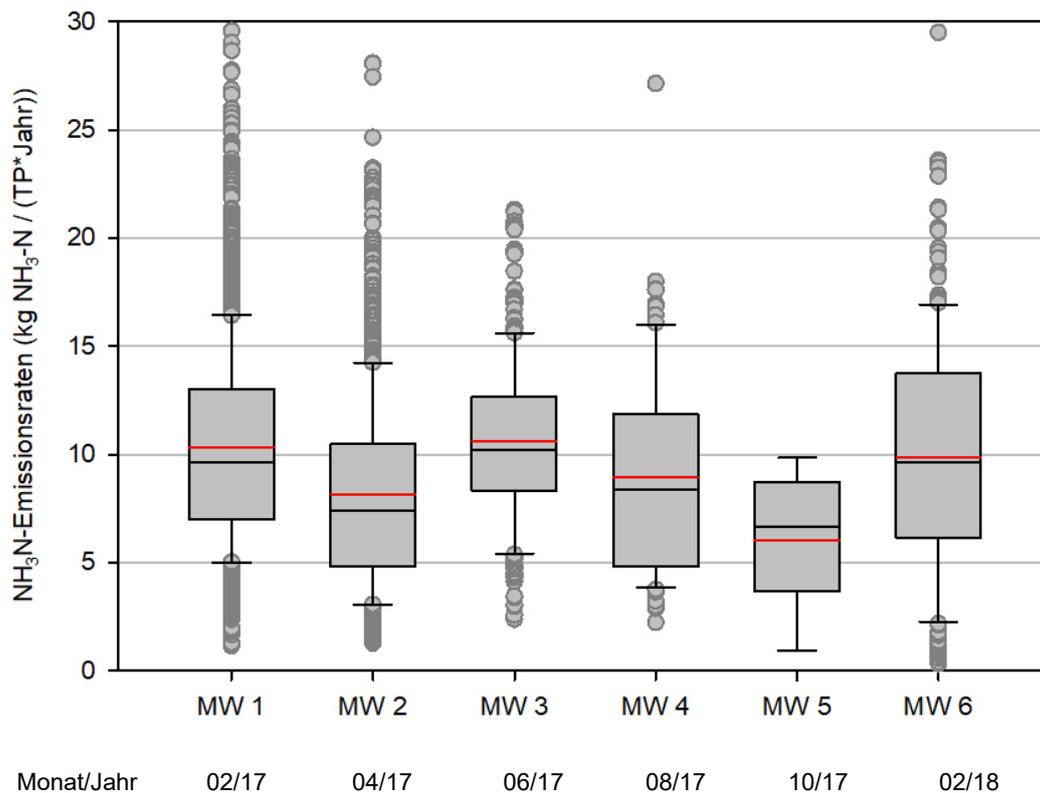


Abbildung 5: $\text{NH}_3\text{-N}$ -Emissionsraten ($\text{kg NH}_3\text{-N Tierplatz}^{-1} \text{ Jahr}^{-1}$) für die sechs Messwochen (MW) am Standort Keller 1. Die roten Linien in den Boxen kennzeichnen die arithmetischen Mittelwerte, die schwarzen Linien die Mediane. (© KTBL)

Tabelle 2: Kennwerte der Messwochen am Standort Keller 1

Kennwerte	Einheit	Messwoche (MW)					
		1	2	3	4	5	6
Messdatum	Monat/Jahr	02/17	04/17	06/17	08/17	10/17	02/18
Durchschnittstemperatur MW	°C	7,1	7,7	20,3	19,9	12,3	0,3
Anzahl laktierende Tiere	n	129	132	128	120	120	129
Anzahl Trockensteher	n	6	4	3	8	7	3
Mittleres Gewicht laktierender Tiere	kg	660	660	680	699	690	680
Milchleistung pro Tier und Tag	kg	31,3	31,5	31,1	29,9	29,3	30,3
Milchharnstoffgehalt	mg/100 ml	19,4	18,5	22,5	19,0	15,0	16,7
Lauffläche /Tier	m ²	4,62	4,59	4,76	4,88	4,91	4,66
Abstand Gülle von Laufflächenoberfläche	m	0,5	1,0	0,9	0,8	1,0	0,5
Curtains offen	%	100	100	100	100	100	50

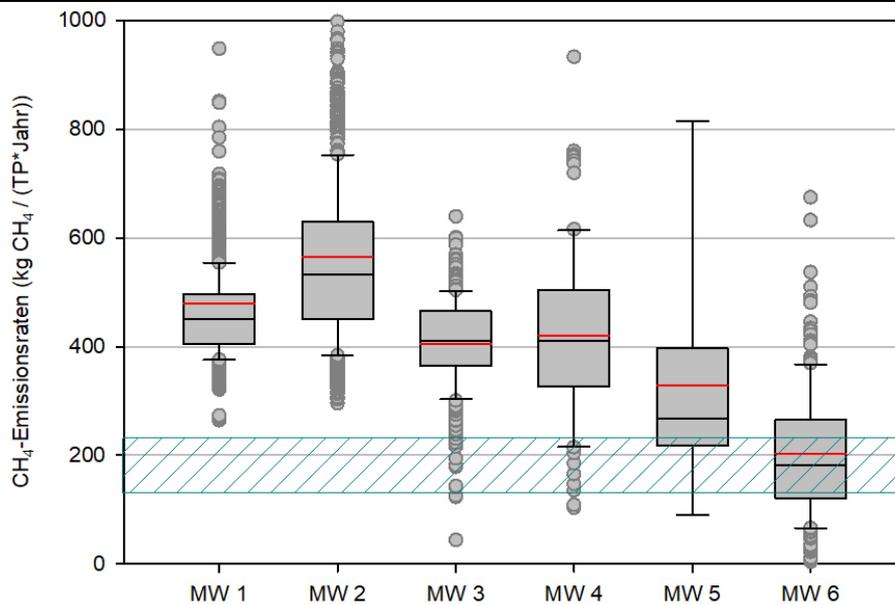


Abbildung 6: CH₄-Emissionsraten (kg CH₄ Tierplatz⁻¹ Jahr⁻¹) für die sechs Messwochen (MW) am Standort Keller 1. Die roten Linien in den Boxen kennzeichnen die arithmetischen Mittelwerte, die schwarzen Linien die Mediane. Der schraffierte Bereich stellt die Spanne der CH₄-Emissionsraten der Gruppen „Plan“ und „Spalte“ im EmiDaT-Projekt dar (Plan: 120–160 kg CH₄ Tierplatz⁻¹ Jahr⁻¹, Spalte: 130–240 kg CH₄ Tierplatz⁻¹ Jahr⁻¹). (© KTBL)

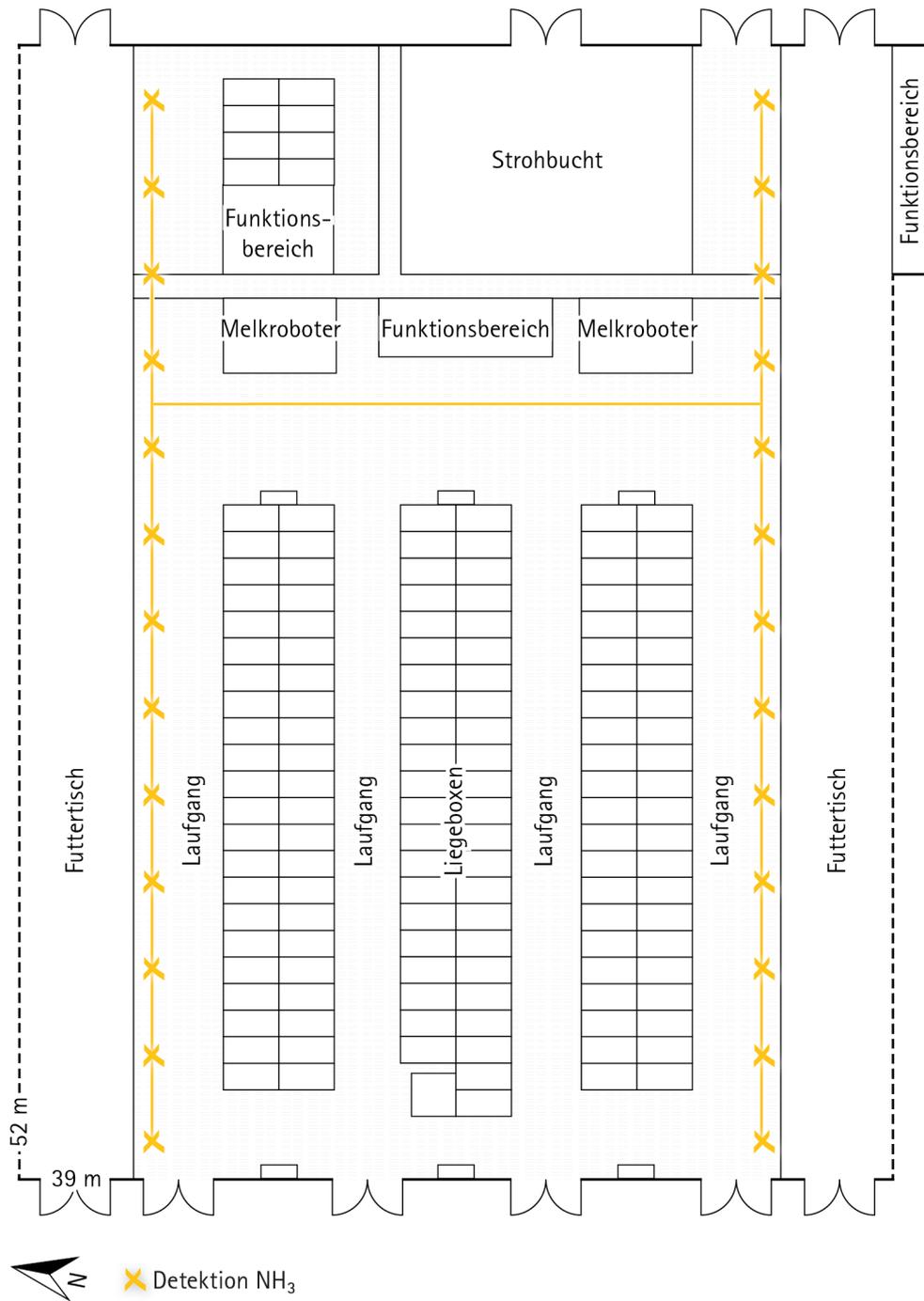


Abbildung 7: Stallansicht Keller 1 mit schematischer Einzeichnung der Detektionslinie und der Probennahmepunkte (gelb) für NH₃, CH₄ und CO₂ (© KTBL)

Standort Keller 2

Standortbeschreibung

Tabelle 1: Kurzprofil des Standorts Keller 2

Haltungs- und Entmistungsverfahren	Einheit	Boxenlaufstall mit Güllekeller, Laufgang mit Spaltenboden
Baujahr Stallgebäude		2014
Tierplätze	n	120
Grundfläche	m ²	1444
Rasse		Schwarzbunt
Melksystem		Roboter
Bodenreinigung		Roboter mit Sprühvorrichtung
Reinigungsfrequenz	n	16x / Tag
Tiefe Güllekanäle	m	2



Abbildung 1: Luftbildkarte Standort Keller 2 (Luftbild: © Google, verändert). Die Windrose zeigt die prozentuale Häufigkeit der Windrichtungen (Messwerte am Standort); die rote Linie zeigt die Ausrichtung der Firstachse des Stallgebäudes. (© KTBL)



Abbildung 2: Innenansicht Stall am Standort Keller 2 (© KTBL)

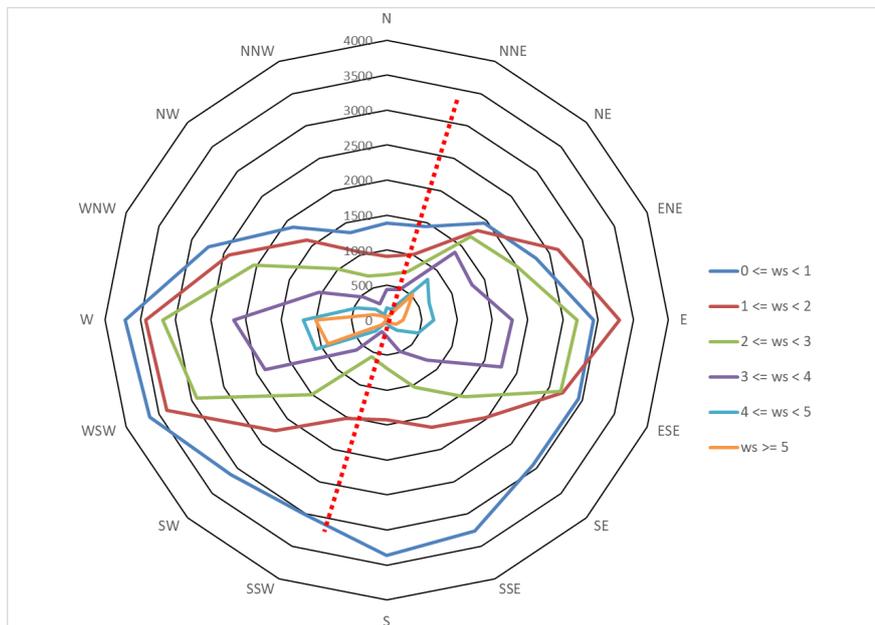


Abbildung 3: Häufigkeit (n) der Windgeschwindigkeitsklasse (außen, in m s^{-1}) nach Windrichtung ($^{\circ}$) am Standort Keller 2 (© KTBL)

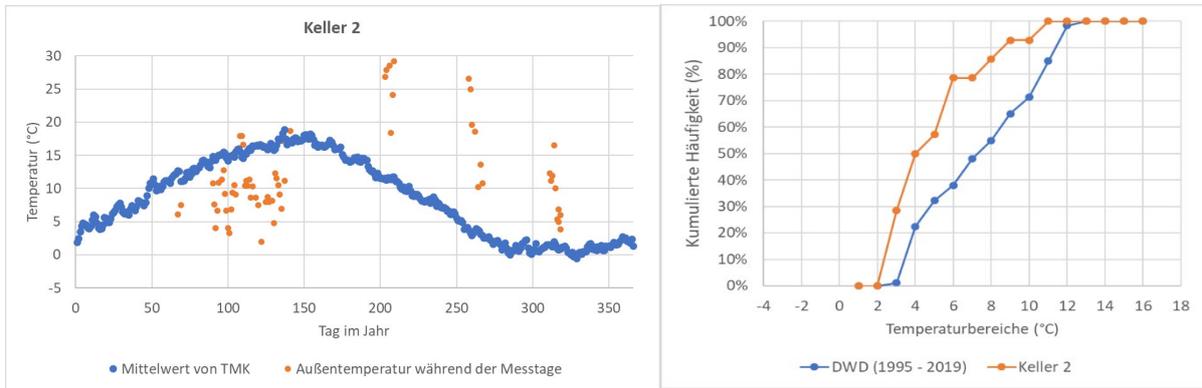


Abbildung 4: Links: Tagesmittel der Außentemperaturen zum Zeitpunkt der Messung (orange) und langjährige Tagesmitteltemperaturen (blaue Punkte, TMK = Tagesmittel Klimastation) der nächstgelegenen DWD-Wetterstation. Rechts: kumulierte Häufigkeit (%) der gemessenen Tagesmitteltemperaturen. (© KTBL)

Emissionsraten in den Messwochen

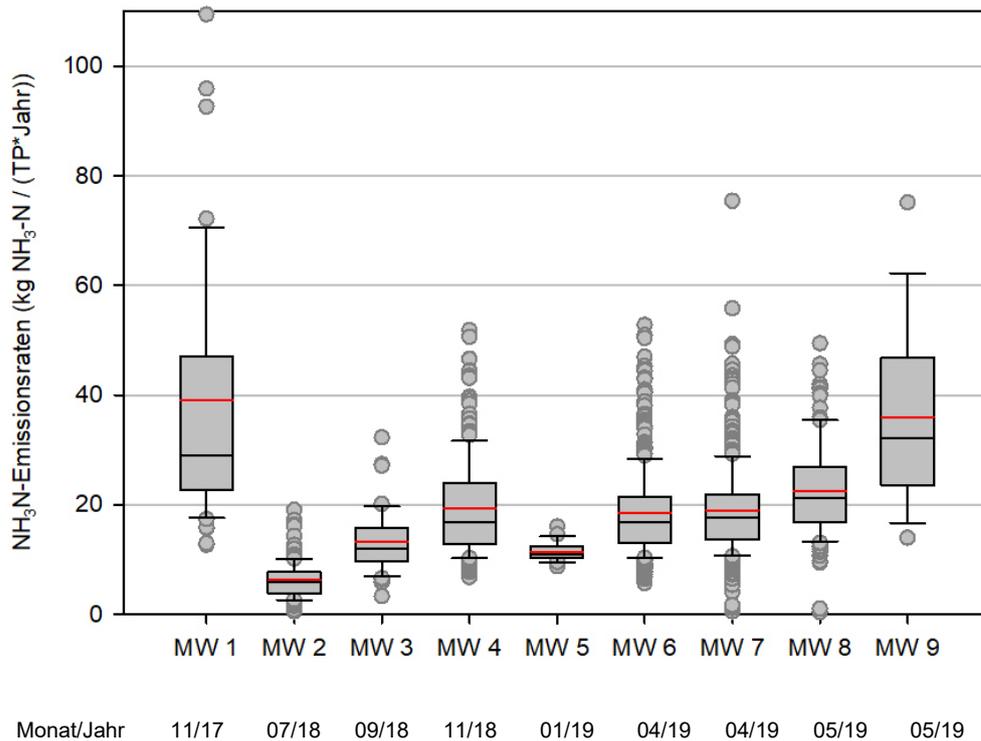


Abbildung 5: NH₃-N-Emissionsraten (kg NH₃-N Tierplatz⁻¹ Jahr⁻¹) für die neun Messwochen (MW) am Standort Keller 2. Die roten Linien in den Boxen kennzeichnen die arithmetischen Mittelwerte, die schwarzen Linien die Mediane. (© KTBL)

Tabelle 2: Kennwerte der Messwochen am Standort Keller 2

Kennwerte	Einheit	Messwoche (MW)								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Messdatum	Monat/ Jahr	11/17	07/18	09/18	11/18	01/19	04/19	04/19	05/19	05/19
Durchschnitts- temperatur MW	°C	4,9	25,1	14,4	8,4	6,5	7,8	13,0	8,8	12,3
Anzahl laktierende Tiere	n	104	115	113	119	121	120	116	122	118
Anzahl Trockensteher	n	4	5	4	6	3	5	7	4	4
Mittleres Gewicht laktierender Tiere	kg	652	654	654	655	656	656	657	657	657
Milchleistung pro Tier und Tag	kg	30,2	29,1	28,0	29,5	31,0	30,5	30,2	31,0	31,2
Milchharnstoff- gehalt	mg/100 ml	23,0	28,0	19,0	24,8	22,1	23,5	24,0	23,6	22,7
Lauffläche /Tier	m ²	5,0	4,3	4,6	4,3	4,3	4,1	4,3	4,3	4,3
Abstand Gülle von Laufflächenober- fläche	m	1,5	1,25	1,0	1,0	0,8	1,8	1,7	1,5	1,5
Curtains offen	%	100	100	100	100	100	100	100	100	100

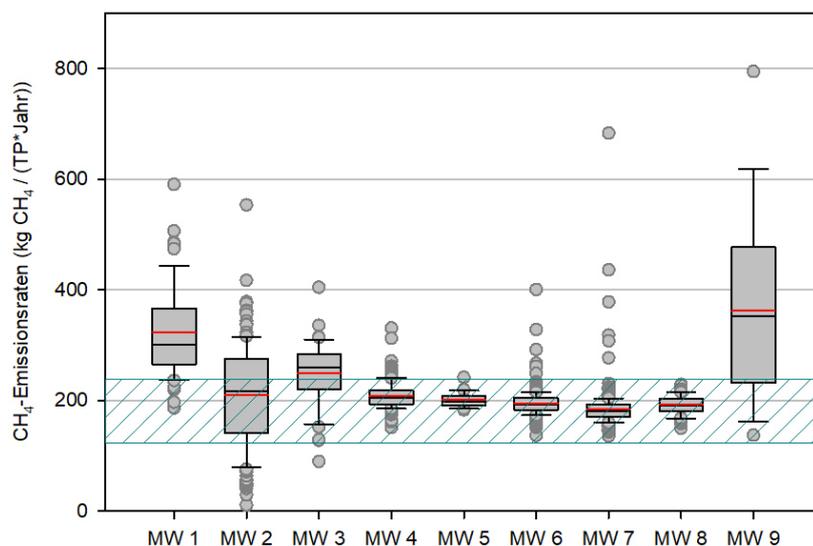


Abbildung 6: CH₄-Emissionsraten (kg CH₄ Tierplatz⁻¹ Jahr⁻¹) für die neun Messwochen (MW) am Standort Keller 2. Die roten Linien in den Boxen kennzeichnen die arithmetischen Mittelwerte, die schwarzen Linien die Mediane. Der schraffierte Bereich stellt die Spanne der CH₄-Emissionsraten der Gruppen „Plan“ und „Spalte“ im EmiDaT-Projekt dar (Plan: 120–160 kg CH₄ Tierplatz⁻¹ Jahr⁻¹, Spalte: 130 - 240 kg CH₄ Tierplatz⁻¹ Jahr⁻¹). (© KTBL)

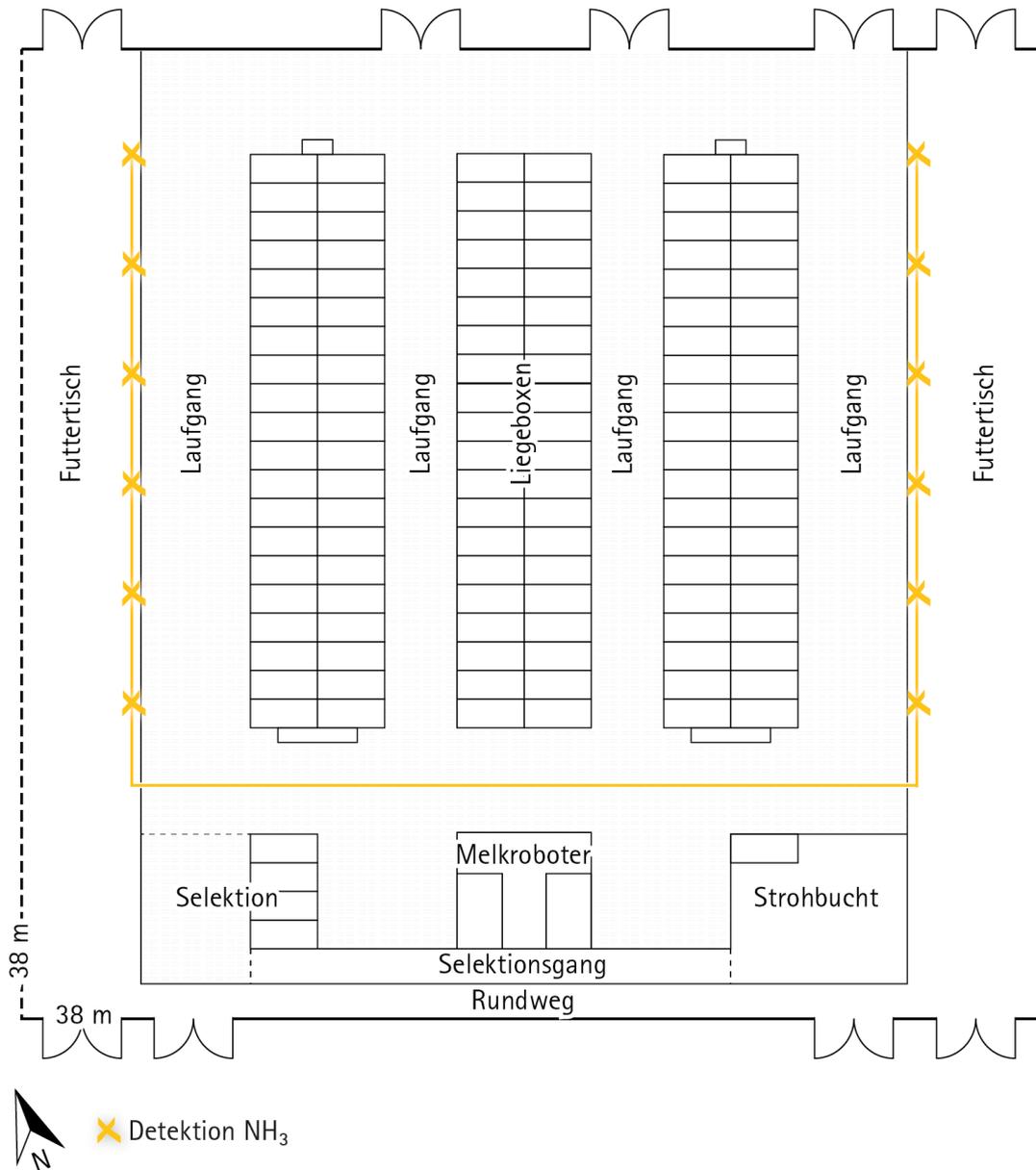


Abbildung 7: Stallansicht Keller 2 mit schematischer Einzeichnung der Detektionslinie und der Probenahmepunkte (gelb) für NH₃, CH₄ und CO₂ (© KTBL)

Standort Keller 3

Standortbeschreibung

Tabelle 1: Kurzprofil des Standorts Keller 3

Haltungs- und Entmistungsverfahren	Einheit	Boxenlaufstall mit Güllekeller, Laufgang mit Spaltenboden
Baujahr Stallgebäude		2014
Tierplätze	n	90
Grundfläche	m ²	1060
Rasse		Schwarzbunt
Melksystem		Roboter
Bodenreinigung		Roboter
Reinigungsfrequenz	n	7x / Tag
Tiefe Güllekanäle	m	2,2

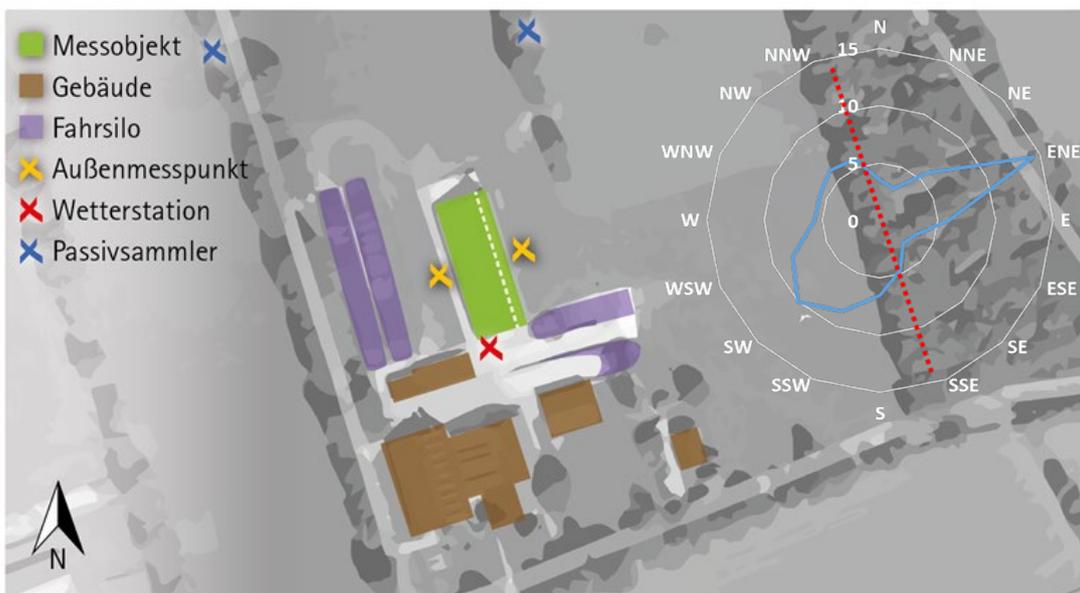


Abbildung 1: Luftbildkarte Standort Keller 3 (Luftbild: © Google, verändert). Die Windrose zeigt die prozentuale Häufigkeit der Windrichtungen (Messwerte am Standort); die rote Linie zeigt die Ausrichtung der Firstachse des Stallgebäudes. (© KTBL)



Abbildung 2: Innenansicht Stall am Standort Keller 3 (© KTBL)

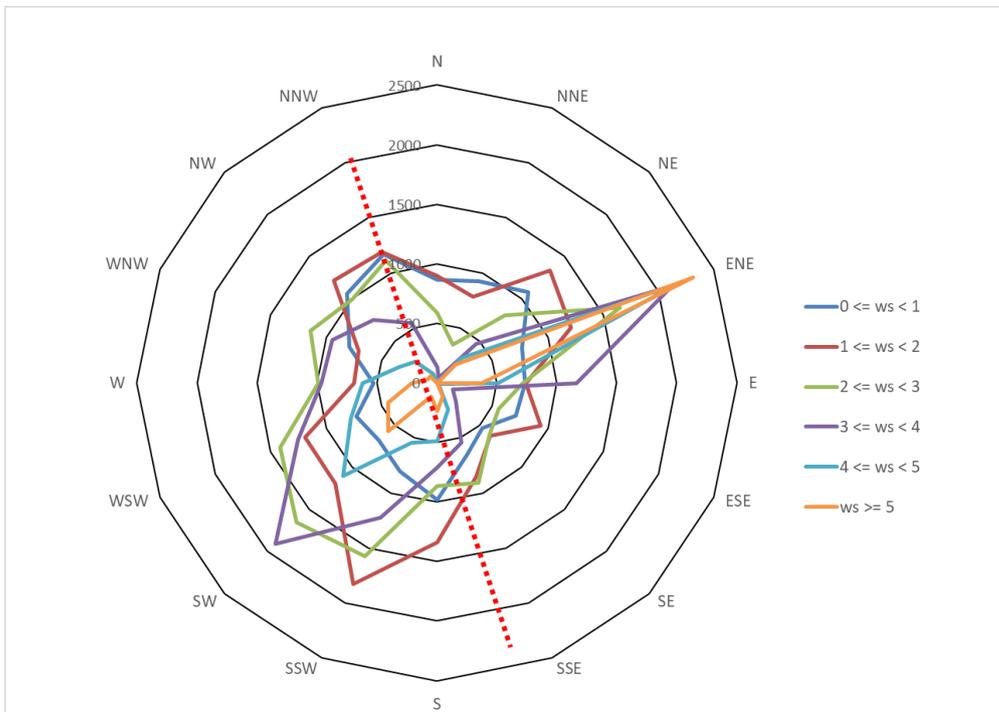


Abbildung 3: Häufigkeit (n) der Windgeschwindigkeitsklasse (außen, in $m s^{-1}$) nach Windrichtung ($^{\circ}$) am Standort Keller 3 (© KTBL)

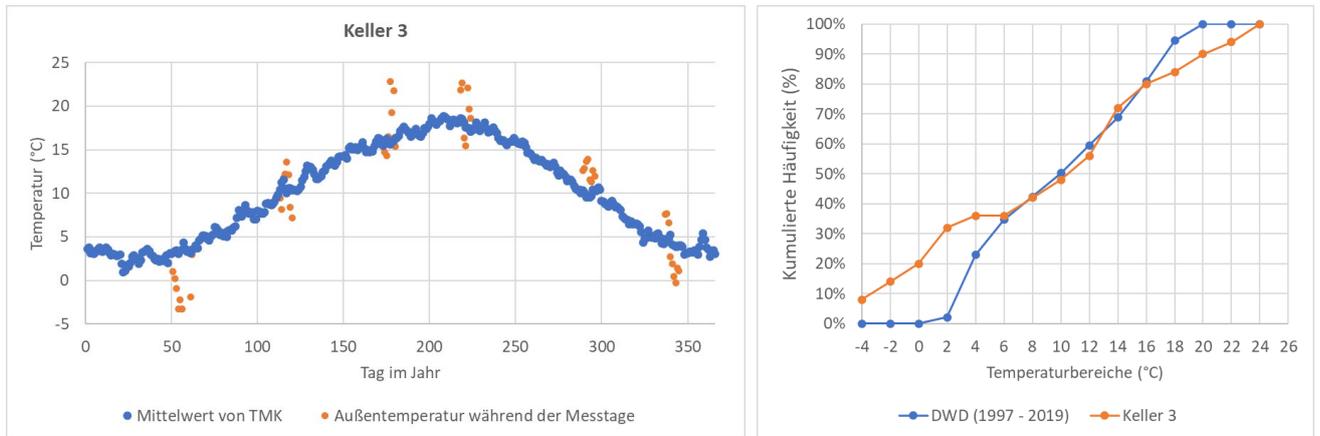


Abbildung 4: Links: Tagesmittel der Außentemperaturen zum Zeitpunkt der Messung (orange) und langjährige Tagesmitteltemperaturen (blaue Punkte, TMK = Tagesmittel Klimastation) der nächstgelegenen DWD-Wetterstation. Rechts: kumulierte Häufigkeit (%) der gemessenen Tagesmitteltemperaturen. (© KTBL)

Emissionsraten in den Messwochen

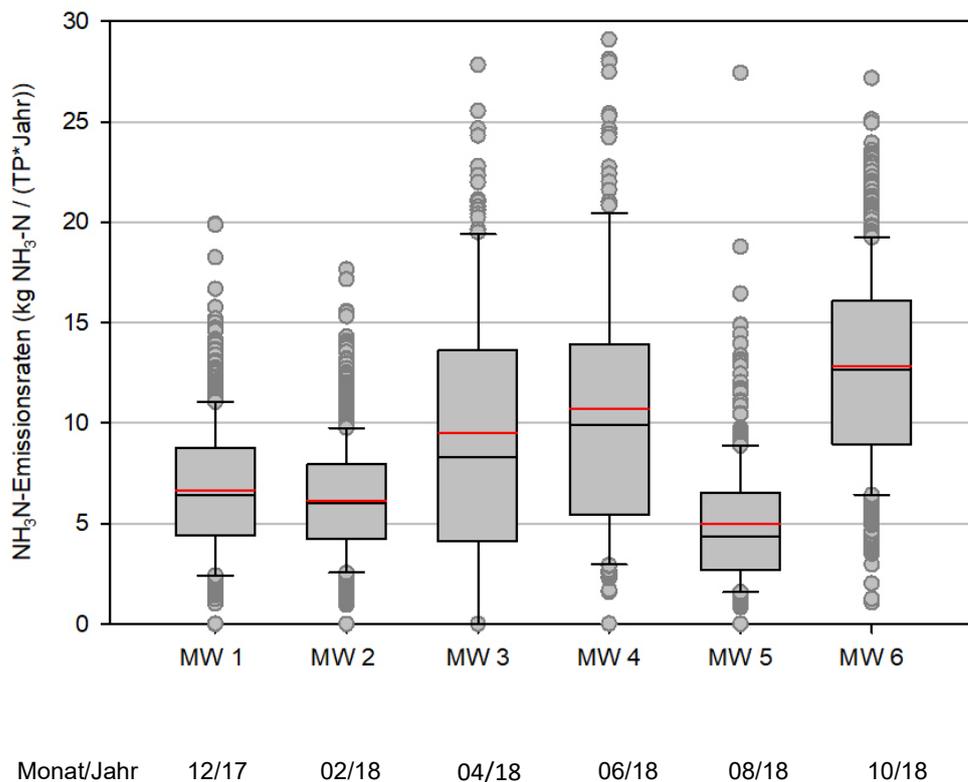


Abbildung 5: $\text{NH}_3\text{-N}$ -Emissionsraten ($\text{kg NH}_3\text{-N Tierplatz}^{-1} \text{ Jahr}^{-1}$) für die sechs Messwochen (MW) am Standort Keller 3. Die roten Linien in den Boxen kennzeichnen die arithmetischen Mittelwerte, die schwarzen Linien die Mediane. (© KTBL)

Tabelle 2: Kennwerte der Messwochen am Standort Keller 3

Kennwerte	Einheit	Messwoche (MW)					
		1	2	3	4	5	6
Messdatum	Monat/Jahr	12/17	02/18	04/18	06/18	08/18	10/18
Durchschnittstemperatur MW	°C	3,1	-3,3	10,3	17,4	18,5	11,1
Anzahl laktierende Tiere	n	70	70	70	70	70	70
Anzahl Trockensteher	n	20	20	20	20	20	20
Mittleres Gewicht laktierender Tiere	kg	650	650	650	650	650	650
Milchleistung pro Tier und Tag	kg	29	31	35	35	33	32
Milchharnstoffgehalt	mg/100 ml	27,2	24,1	26,7	25,3	29,5	24
Lauffläche /Tier	m ²	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8
Abstand Gülle von Laufflächenoberfläche	m	1,0	1,5	0,8	1,8	1,9	1,5
Curtains offen	%	20/50	0	60/75	100	100	75/100

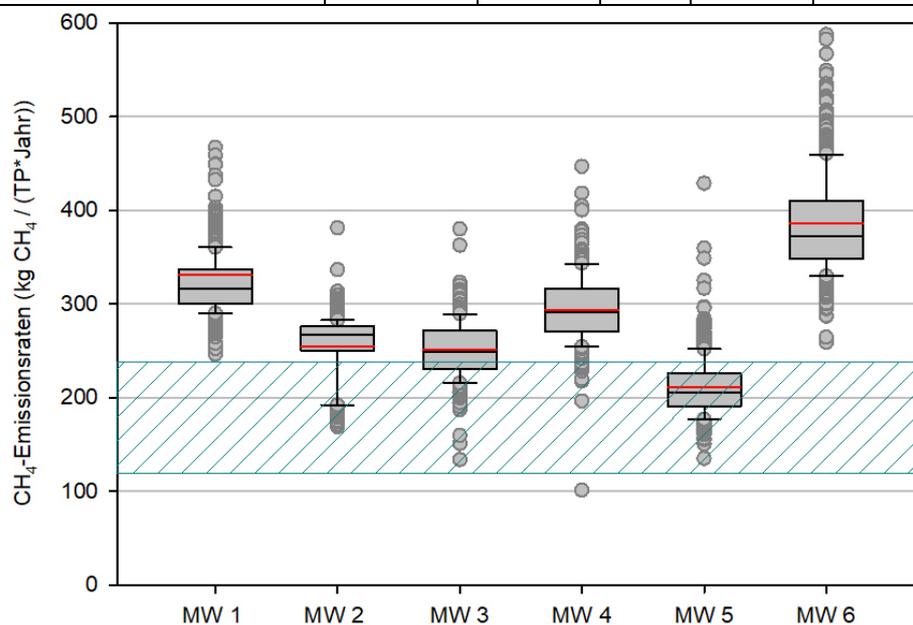


Abbildung 6: CH₄-Emissionsraten (kg CH₄ Tierplatz⁻¹ Jahr⁻¹) für die sechs Messwochen (MW) am Standort Keller 3. Die roten Linien in den Boxen kennzeichnen die arithmetischen Mittelwerte, die schwarzen Linien die Mediane. Der schraffierte Bereich stellt die Spanne der CH₄-Emissionsraten der Gruppen „Plan“ und „Spalte“ im EmiDaT-Projekt dar (Plan: 120–160 kg CH₄ Tierplatz⁻¹ Jahr⁻¹, Spalte: 130-240 kg CH₄ Tierplatz⁻¹ Jahr⁻¹). (© KTBL)

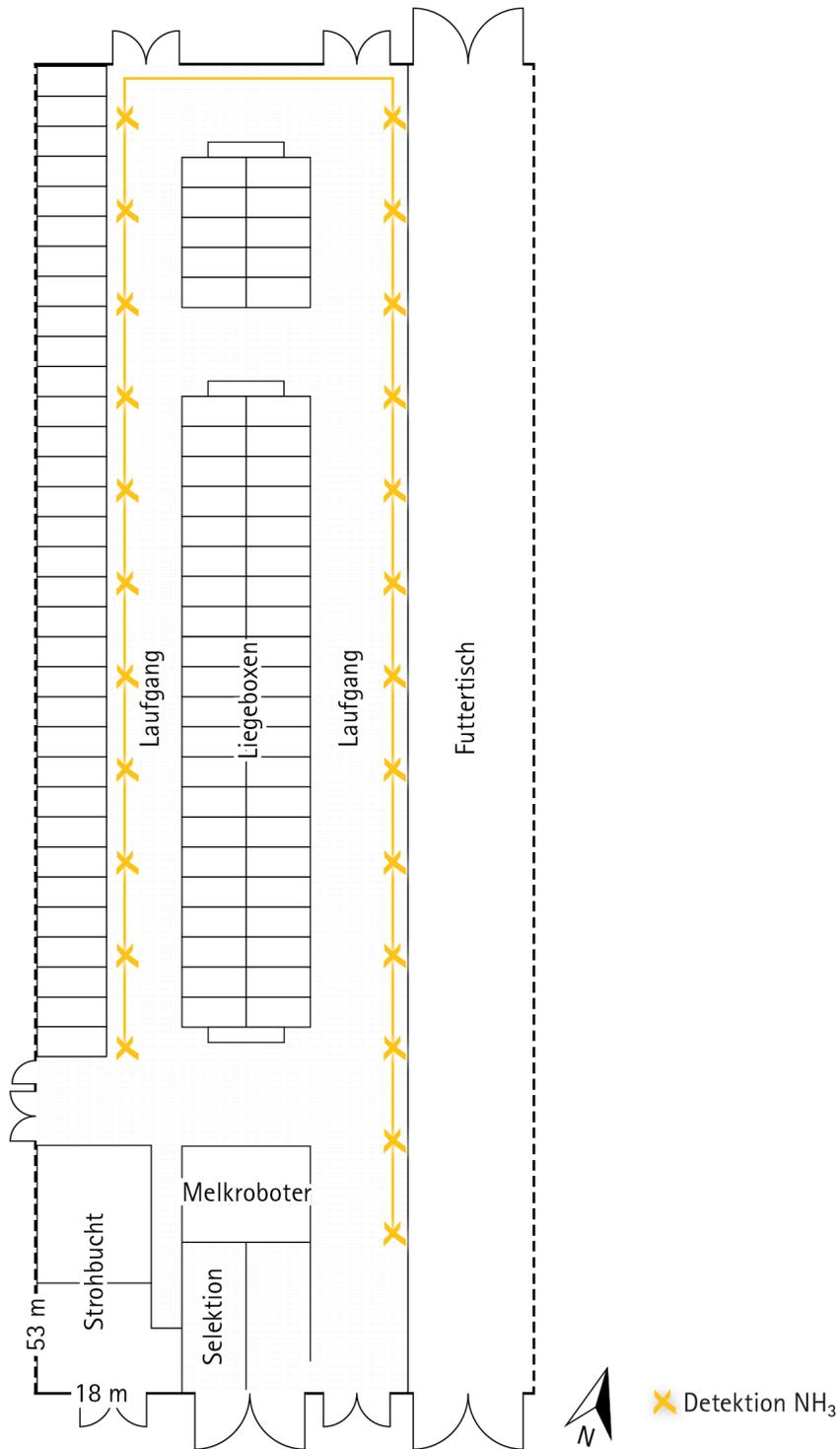


Abbildung 7: Stallansicht Keller 3 mit schematischer Einzeichnung der Detektionslinie und der Probennahmepunkte (gelb) für NH₃, CH₄ und CO₂ (© KTBL)

Standort Keller 4

Standortbeschreibung

Tabelle 1: Kurzprofil des Standorts Keller 4

Haltungs- und Entmistungsverfahren	Einheit	Boxenlaufstall mit Güllekeller, Laufgang mit Spaltenboden
Baujahr Stallgebäude		2013
Tierplätze	n	140
Grundfläche	m ²	2310
Rasse		Schwarzbunt
Melksystem		Roboter
Bodenreinigung		Roboter
Reinigungsfrequenz	n	6 x/Tag
Tiefe Güllekanäle	m	2

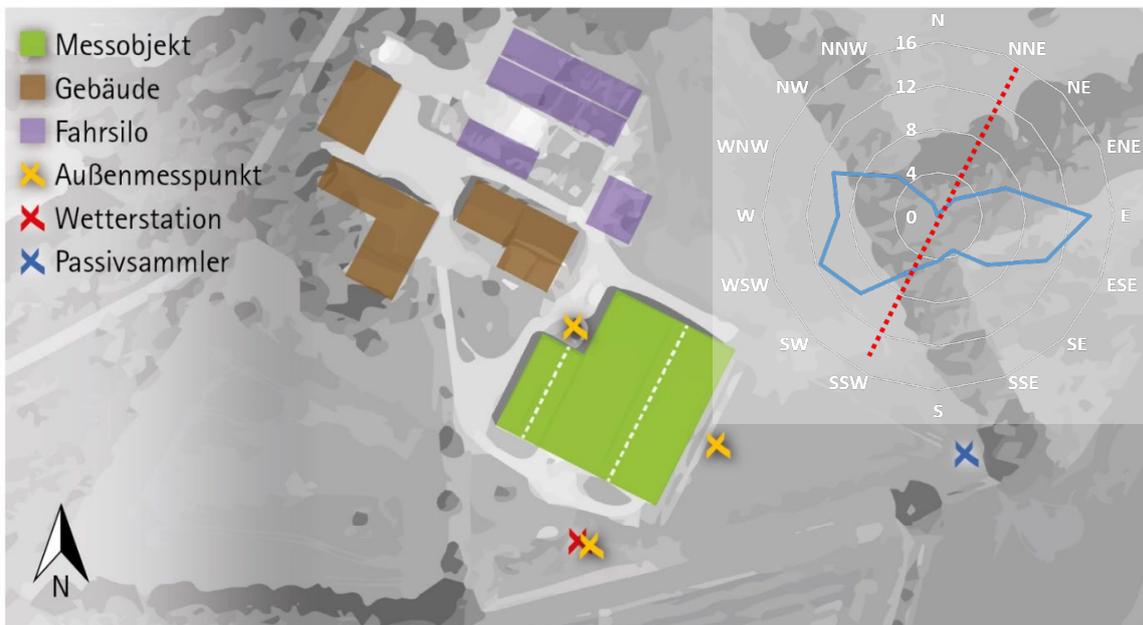


Abbildung 1: Luftbildkarte Standort Keller 4 (Luftbild: © Google, verändert). Die Windrose zeigt die prozentuale Häufigkeit der Windrichtungen (Messwerte am Standort); die rote Linie zeigt die Ausrichtung der Firstachse des Stallgebäudes. (© KTBL)

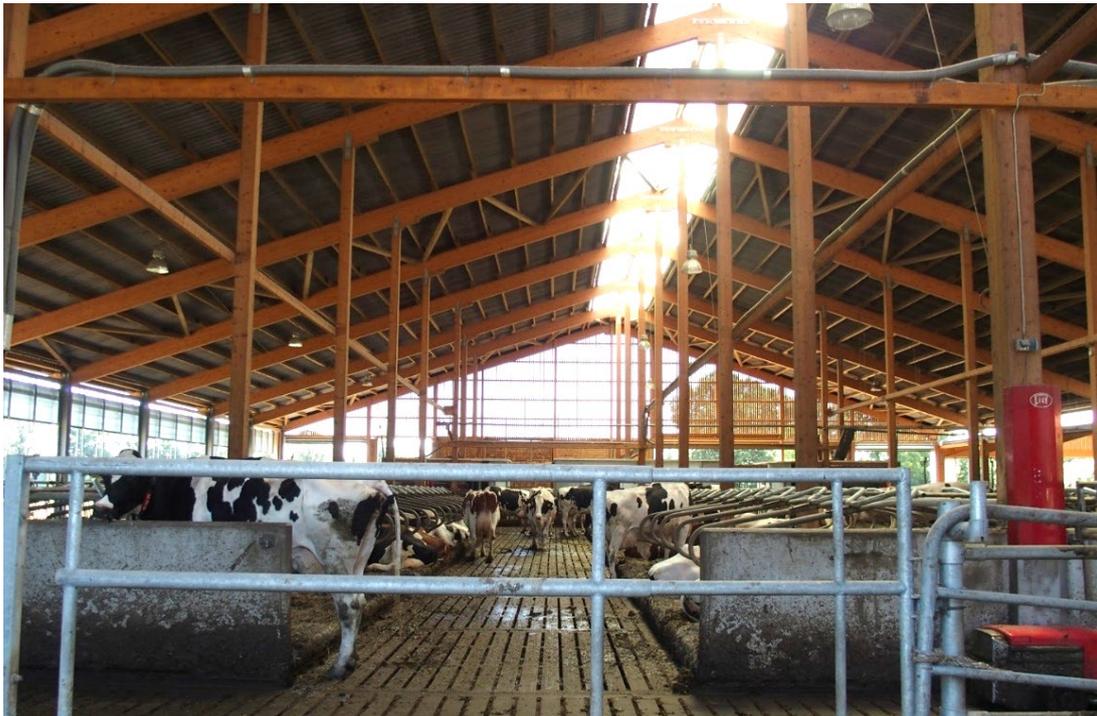


Abbildung 2: Innenansicht Stall am Standort Keller 4 (© KTBL)

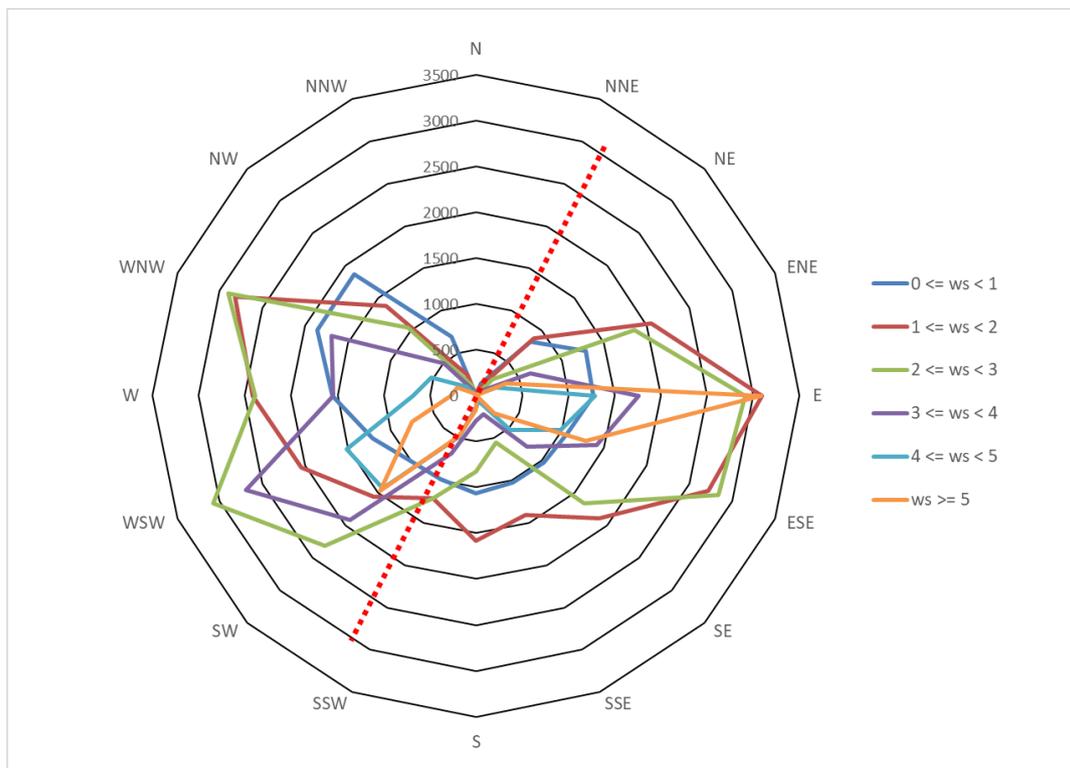


Abbildung 3: Häufigkeit (n) der Windgeschwindigkeitsklasse (außen, in m s^{-1}) nach Windrichtung ($^{\circ}$) am Standort Keller 4 (© KTBL)

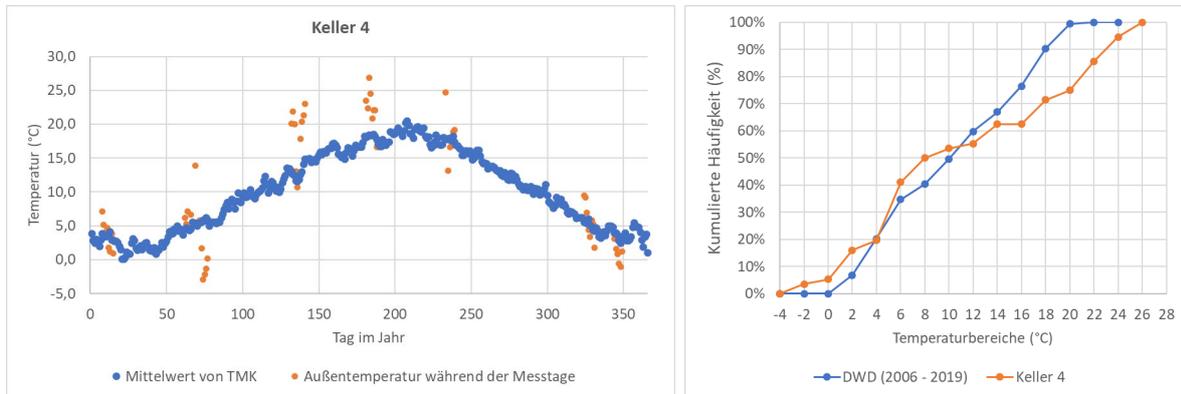


Abbildung 4: Links: Tagesmittel der Außentemperaturen zum Zeitpunkt der Messung (orange) und langjährige Tagesmitteltemperaturen (blaue Punkte, TMK = Tagesmittel Klimastation) der nächstgelegenen DWD-Wetterstation. Rechts: kumulierte Häufigkeit (%) der gemessenen Tagesmitteltemperaturen. (© KTBL)

Emissionsraten in den Messwochen

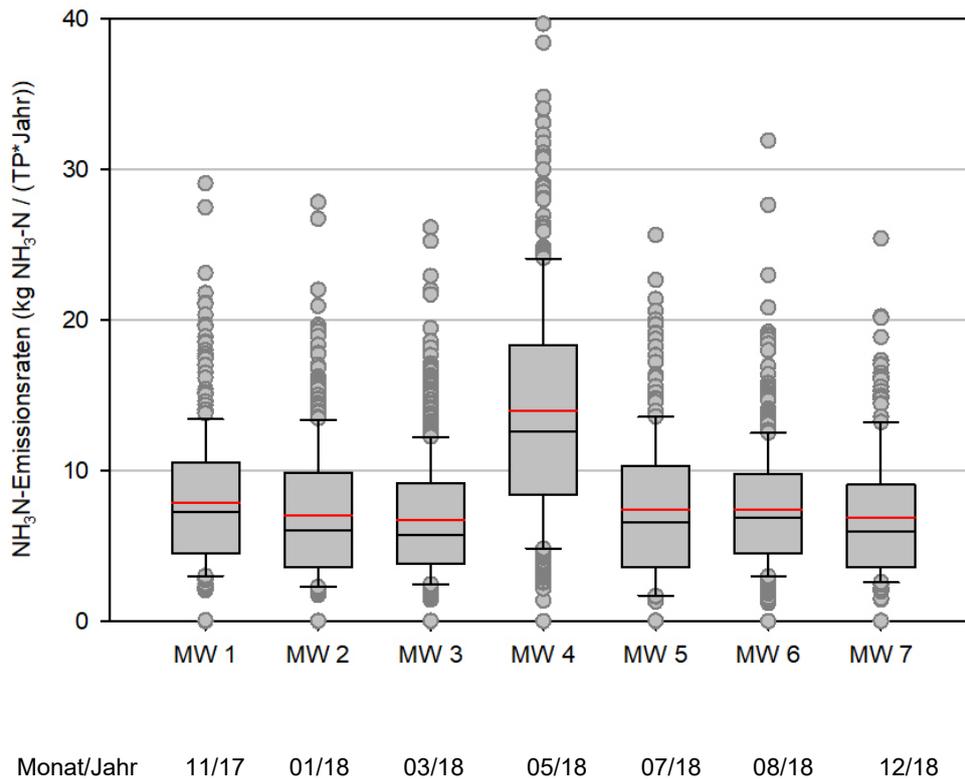


Abbildung. 5: $\text{NH}_3\text{-N}$ -Emissionsraten ($\text{kg NH}_3\text{-N Tierplatz}^{-1} \text{ Jahr}^{-1}$) für die sieben Messwochen (MW) am Standort Keller 4. Die roten Linien in den Boxen kennzeichnen die arithmetischen Mittelwerte, die schwarzen Linien die Mediane. (© KTBL)

Tabelle 2: Kennwerte der Messwochen am Standort Keller 4

Kennwerte	Einheit	Messwoche (MW)						
		1	2	3	4	5	6	7
Messdatum	Monat/Jahr	11/17	01/18	03/18	05/18	07/18	08/18	12/18
Durchschnittstemperatur MW	°C	5,5	3,9	5,1	16,3	19,9	17,4	4,0
Anzahl laktierende Tiere	n	115	118	119	118	116	118	107
Anzahl Trockensteher	n	9	10	8	6	11	10	10
Mittleres Gewicht laktierender Tiere	kg	701	704	710	716	716	710	694
Milchleistung pro Tier und Tag	kg	35,4	36,5	35,3	35,8	36,1	35,9	32,1
Milchharnstoffgehalt	mg/100 ml	25,6	19,3	21,1	27,3	19,5	22,1	22,6
Lauffläche /Tier	m ²	5,6	5,42	5,46	5,6	5,46	5,42	5,93
Abstand Gülle von Laufflächenoberfläche	m	0,85	0,8	0,97	1,68	0,96	1,18	0,65
Curtains offen	%	75/65	30/0	55/60	100	90/100	90/100	60/100

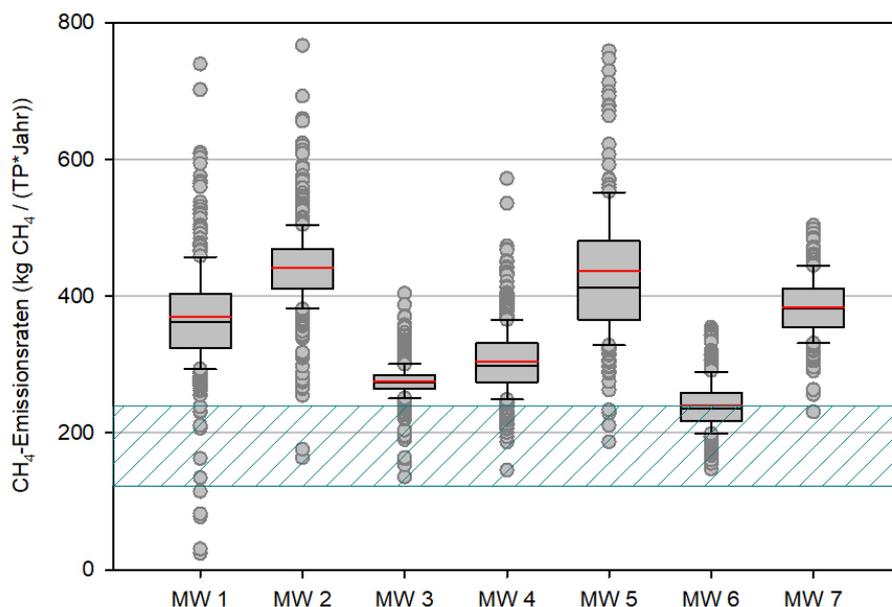


Abbildung 6: CH₄-Emissionsraten (kg CH₄ Tierplatz⁻¹ Jahr⁻¹) für die sieben Messwochen (MW) am Standort Keller 4. Die roten Linien in den Boxen kennzeichnen die arithmetischen Mittelwerte, die schwarzen Linien die Mediane. Der schraffierte Bereich stellt die Spanne der CH₄-Emissionsraten der Gruppen „Plan“ und „Spalte“ im EmiDaT-Projekt dar (Plan: 120–160 kg CH₄ Tierplatz⁻¹ Jahr⁻¹, Spalte: 130–240 kg CH₄ Tierplatz⁻¹ Jahr⁻¹). (© KTBL)

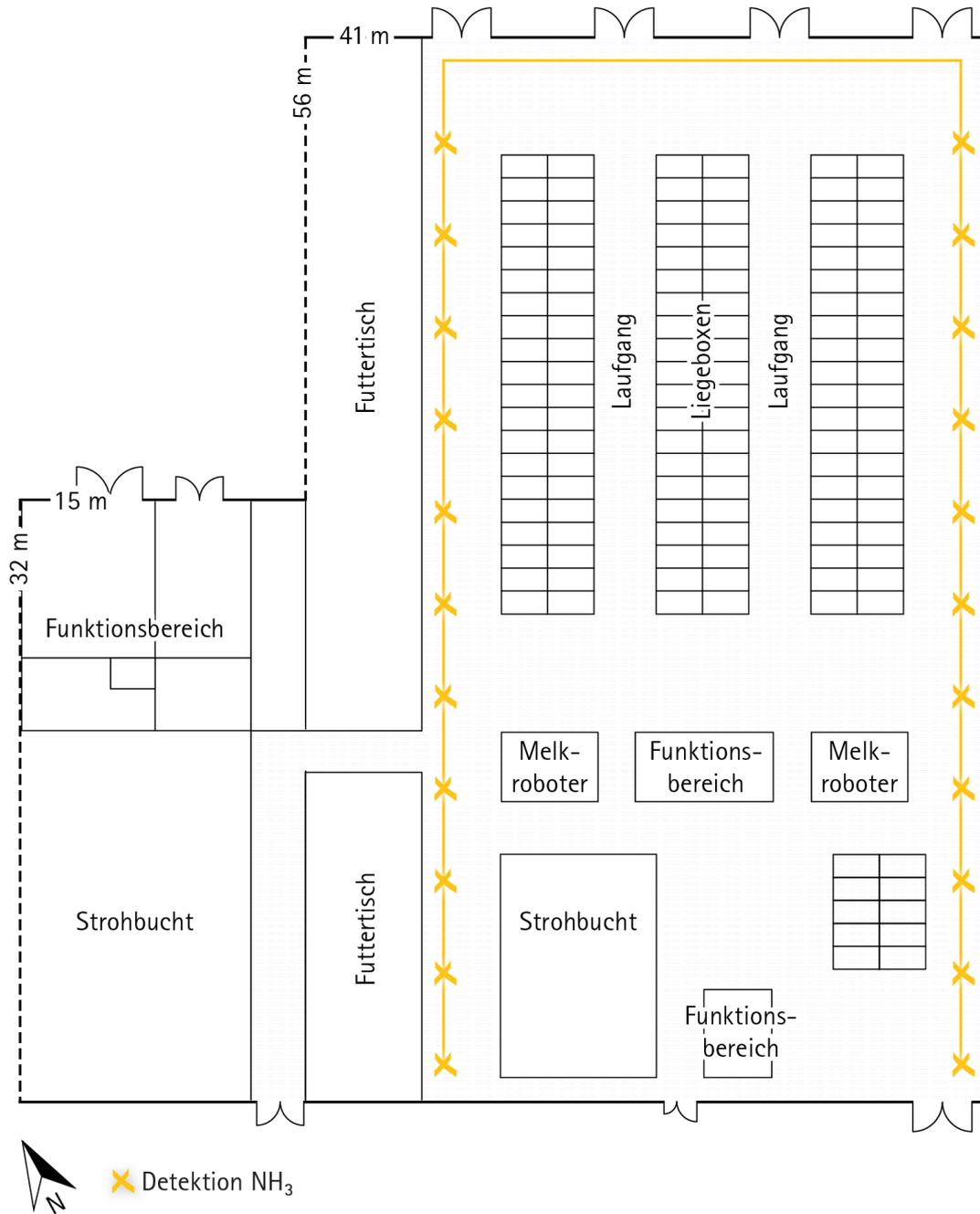


Abbildung 7: Stallansicht Keller 4 mit schematischer Einzeichnung der Detektionslinie und der Probenahmepunkte (gelb) für NH₃, CH₄ und CO₂ (© KTBL)

Standort Plan 1

Tabelle 1: Kurzprofil des Standorts Plan 1

Haltungs- und Entmistungsverfahren	Einheit	Boxenlaufstall, Laufgang planbefestigt
Baujahr Stallgebäude		2004
Tierplätze	n	90
Grundfläche	m ²	1400
Rasse		Fleckvieh
Melksystem		Melkstand
Bodenreinigung		Schieber
Reinigungsfrequenz	n	9 bis 12x / Tag

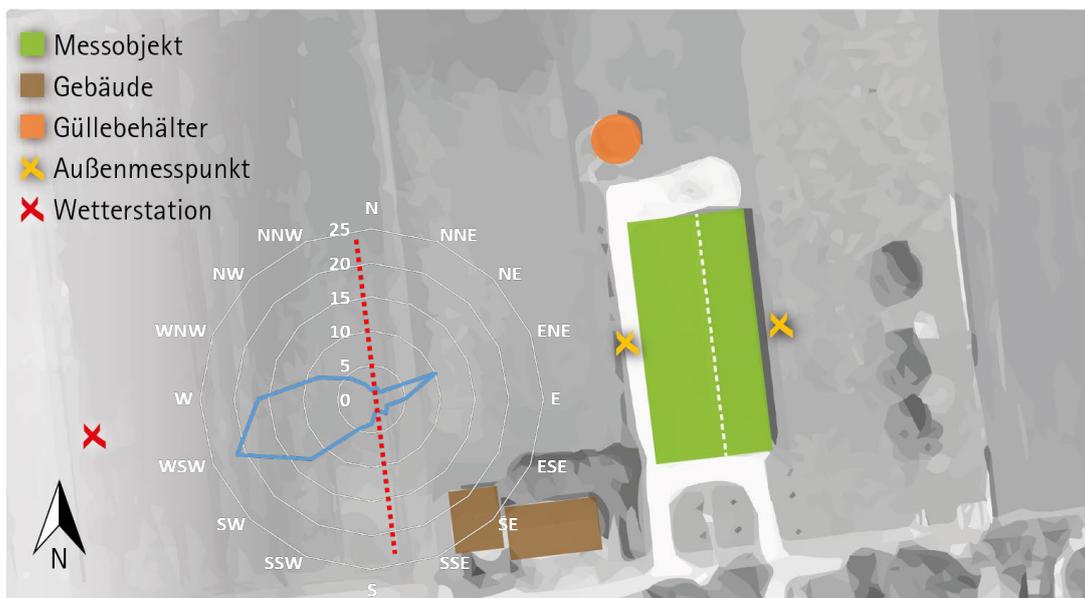


Abbildung 1: Luftbildkarte Standort Plan 1 (Luftbild: © Google, verändert). Die Windrose zeigt die prozentuale Häufigkeit der Windrichtungen (Messwerte am Standort); die rote Linie zeigt die Ausrichtung der Firstachse des Stallgebäudes. (© KTBL)



Abbildung 2: Innenansicht Stall am Standort Plan 1 (© KTBL)

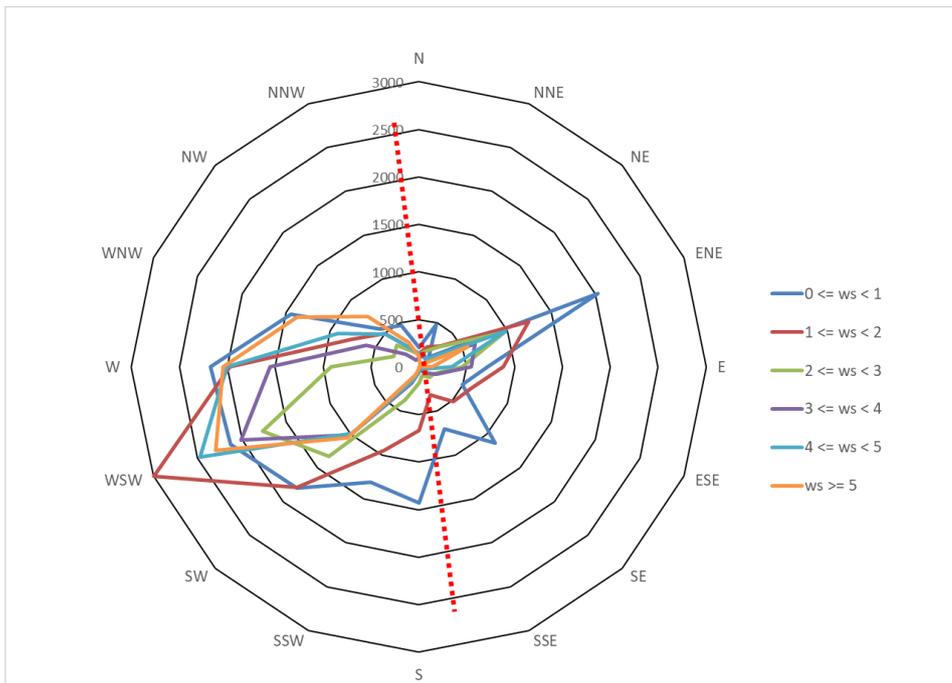


Abbildung 3: Häufigkeit (n) der Windgeschwindigkeitsklasse (außen, in $m\ s^{-1}$) nach Windrichtung ($^{\circ}$) am Standort Plan 1 (© KTBL)

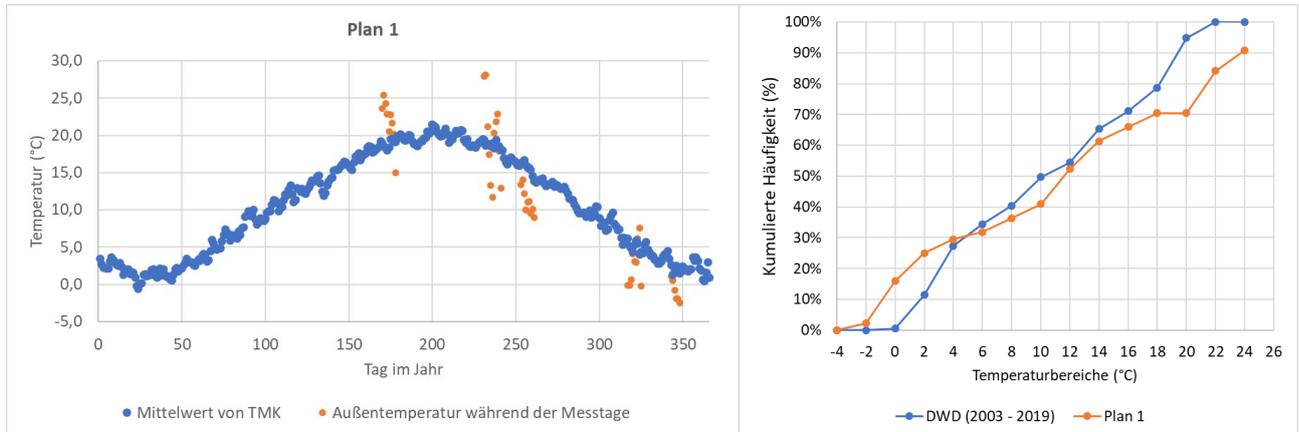


Abbildung 4: Links: Tagesmittel der Außentemperaturen zum Zeitpunkt der Messung (orange) und langjährige Tagesmitteltemperaturen (blaue Punkte, TMK = Tagesmittel Klimastation) der nächstgelegenen DWD-Wetterstation. Rechts: kumulierte Häufigkeit (%) der gemessenen Tagesmitteltemperaturen. (© KTBL)

Emissionsraten in den Messwochen

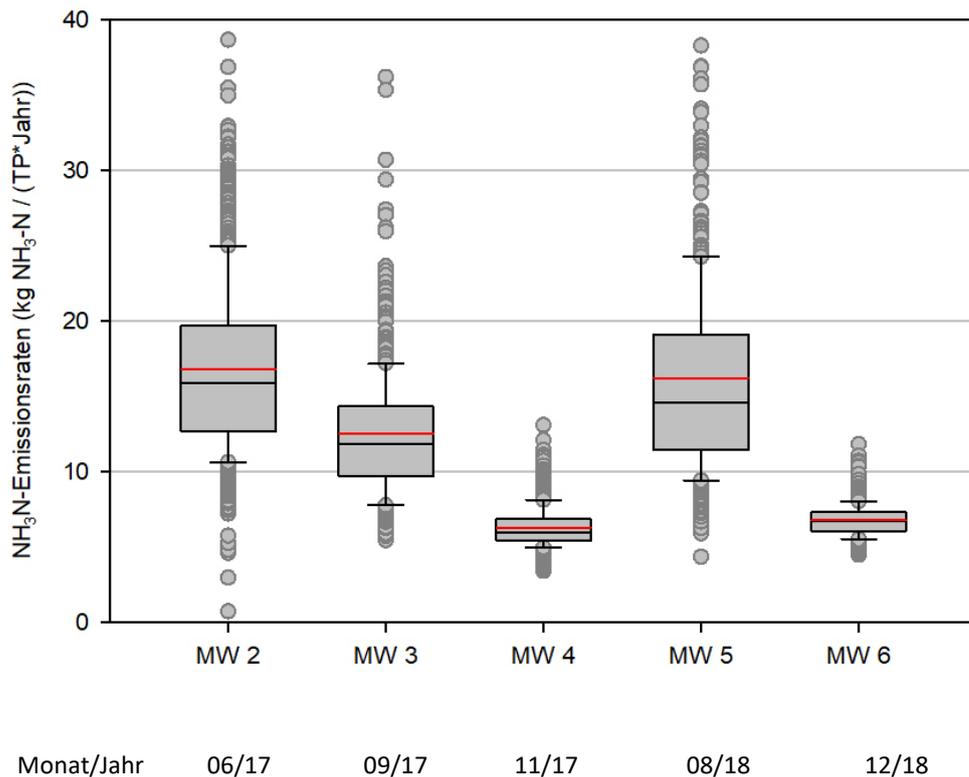


Abbildung 5: NH₃-N-Emissionsraten (kg NH₃-N Tierplatz⁻¹ Jahr⁻¹) für die fünf Messwochen (MW) am Standort Plan 1. Die roten Linien in den Boxen kennzeichnen die arithmetischen Mittelwerte, die schwarzen Linien die Mediane. (© KTBL)

Tabelle 2: Kennwerte der Messwochen am Standort Plan 1

Kennwerte	Einheit	Messwoche (MW)				
		2	3	4	5	6
Messdatum	Monat/Jahr	06/17	09/17	11/17	08/18	12/18
Durchschnittstemperatur MW	°C	21,3	11,3	3,0	17,7	-0,5
Anzahl laktierende Tiere	n	76	88	84	82	81
Anzahl Trockensteher	n	-	13	-	8	14
Mittleres Gewicht laktierender Tiere	kg	740	740	740	740	740
Milchleistung pro Tier und Tag	kg	26,0	25,8	23,5	23,0	18,4
Milchharnstoffgehalt	mg/100 ml	23,3	28,0	27,7	29,3	23,8
Lauffläche /Tier	m ²	4,8	3,6	3,6	3,8	3,6
Abstand Gülle von Laufflächenoberfläche	m	-	-	-	-	-
Curtains offen	%	60/100	70/100	80/100	10/60	100

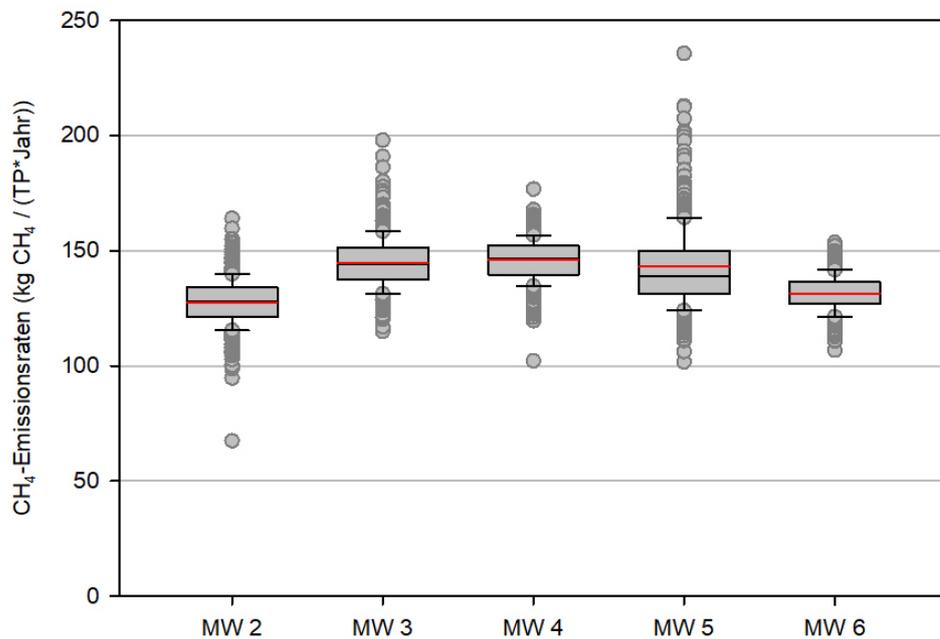


Abbildung 6: CH₄-Emissionsraten (kg CH₄ Tierplatz⁻¹ Jahr⁻¹) für die fünf Messwochen (MW) am Standort Plan 1. Die roten Linien in den Boxen kennzeichnen die arithmetischen Mittelwerte, die schwarzen Linien die Mediane. (© KTBL)

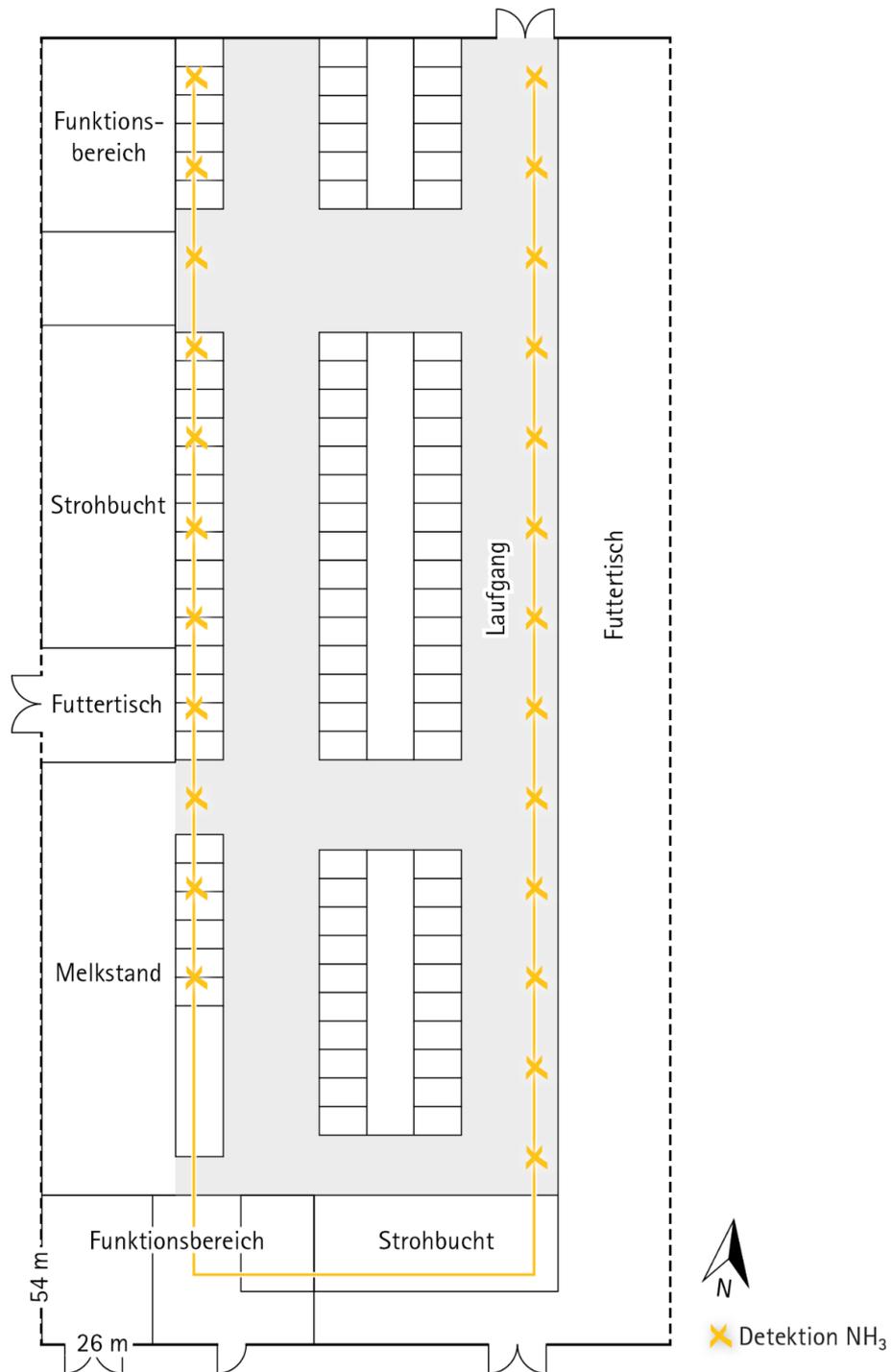


Abbildung 7: Stallansicht Plan 1 mit schematischer Einzeichnung der Detektionslinie und der Probenahmepunkte (gelb) für NH₃, CH₄ und CO₂ (© KTBL)

Standort Plan 2

Standortbeschreibung

Tabelle 1: Kurzprofil des Standorts Plan 2

Haltungs- und Entmistungsverfahren	Einheit	Boxenlaufstall, Laufgang planbefestigt
Baujahr Stallgebäude		2011
Tierplätze	n	180
Grundfläche	m ²	2257
Rasse		Fleckvieh
Melksystem		Roboter
Bodenreinigung		Schieber
Reinigungsfrequenz	n	16x / Tag



Abbildung 1: Luftbildkarte Standort Plan 2 (Luftbild: © Google, verändert). Die Windrose zeigt die prozentuale Häufigkeit der Windrichtungen (Messwerte am Standort); die rote Linie zeigt die Ausrichtung der Firstachse des Stallgebäudes. (© KTBL)



Abbildung 2: Innenansicht Stall am Standort Plan 2 (© KTBL)

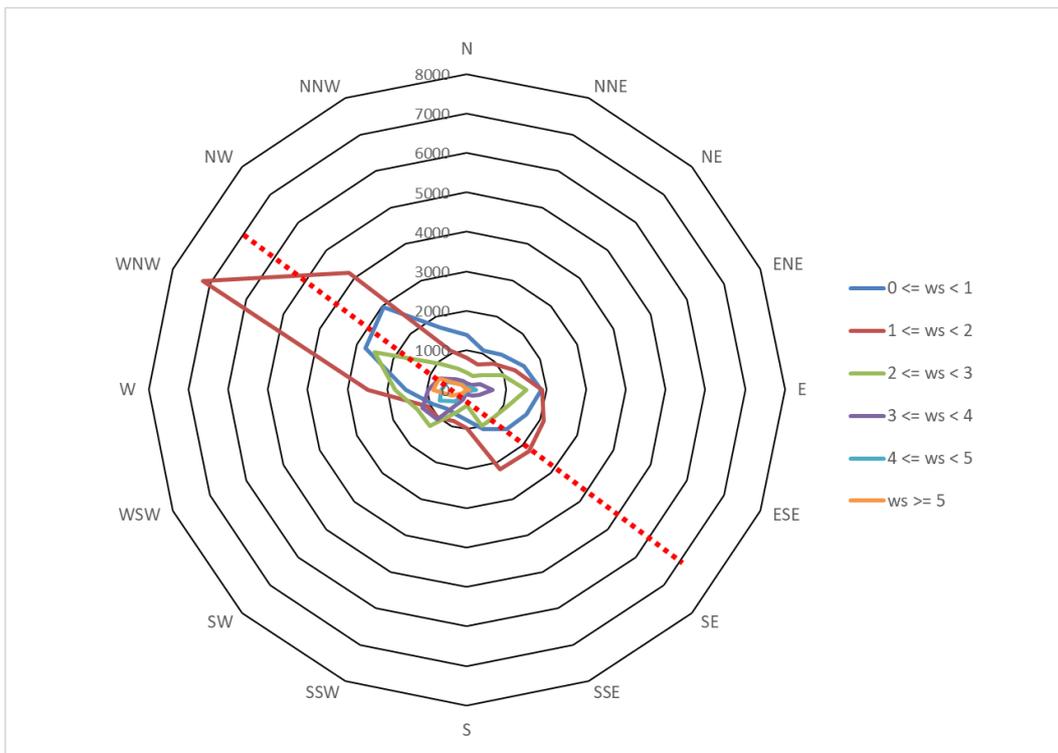


Abbildung 3: Häufigkeit (n) der Windgeschwindigkeitsklasse (außen, in m s^{-1}) nach Windrichtung ($^\circ$) am Standort Plan 2 (© KTBL)

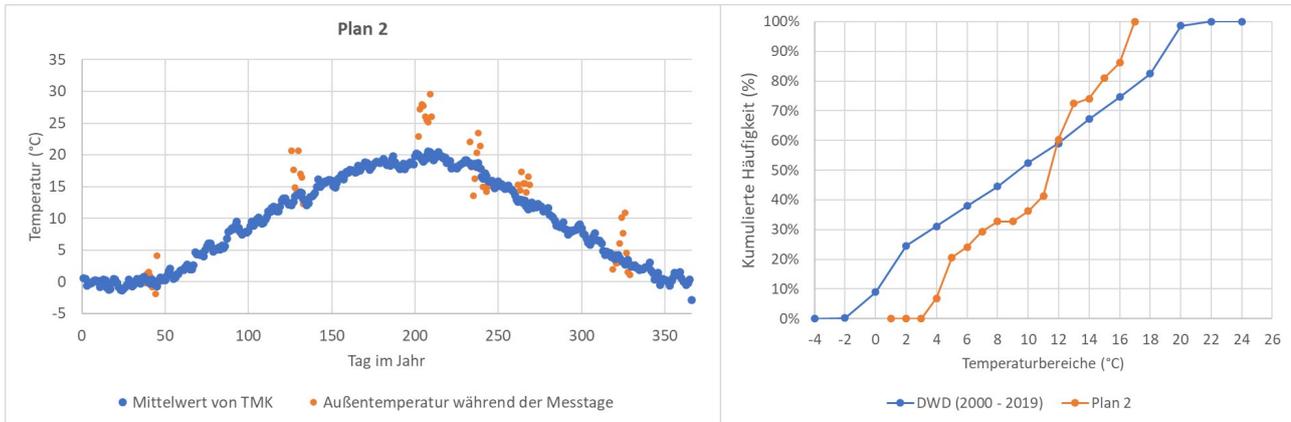


Abbildung 4: Links: Tagesmittel der Außentemperaturen zum Zeitpunkt der Messung (orange) und langjährige Tagesmitteltemperaturen (blaue Punkte, TMK = Tagesmittel Klimastation) der nächstgelegenen DWD-Wetterstation. Rechts: kumulierte Häufigkeit (%) der gemessenen Tagesmitteltemperaturen. (© KTBL)

Emissionsraten in den Messwochen

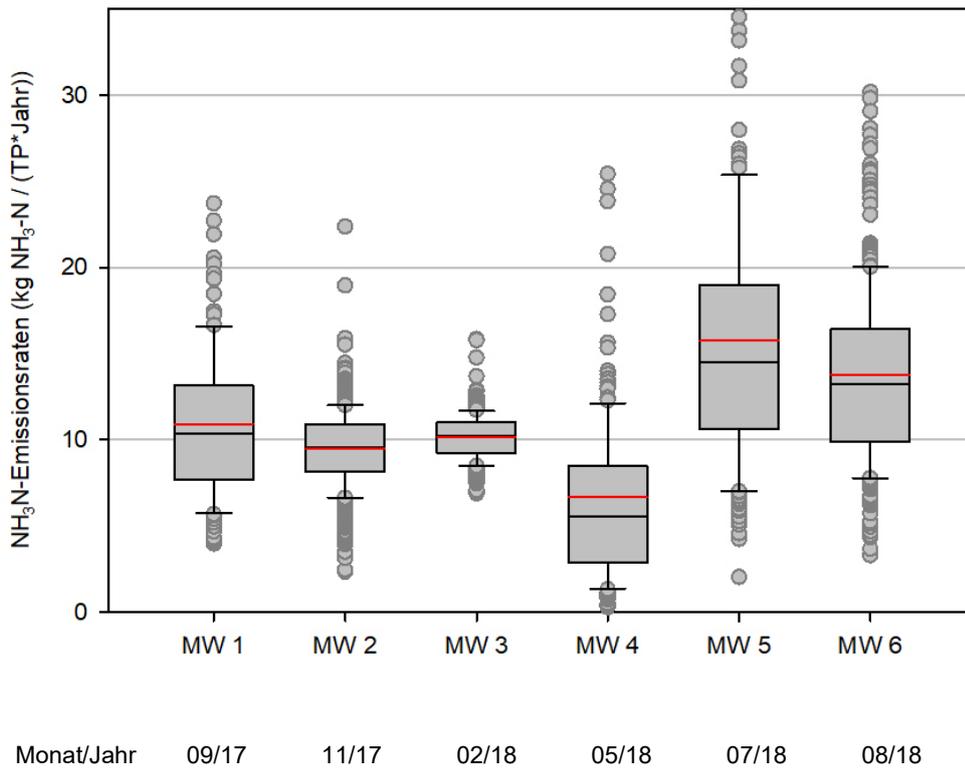


Abbildung. 5: NH₃-N-Emissionsraten (kg NH₃-N Tierplatz⁻¹ Jahr⁻¹) für die sechs Messwochen (MW) am Standort Plan 2. Die roten Linien in den Boxen kennzeichnen die arithmetischen Mittelwerte, die schwarzen Linien die Mediane. (© KTBL)

Tabelle 2: Kennwerte der Messwochen am Standort Plan 2

Kennwerte	Einheit	Messwoche (MW)					
		1	2	3	4	5	6
Messdatum	Monat/Jahr	09/17	11/17	02/18	05/18	07/18	08/18
Durchschnittstemperatur MW	°C	11,6	4,1	-0,7	15,3	22,2	15,6
Anzahl laktierende Tiere	n	127	129	131	138	145	136
Anzahl Trockensteher	n	24	17	24	24	15	18
Mittleres Gewicht laktierender Tiere	kg	767	716	776	822	771	738
Milchleistung pro Tier und Tag	kg	28,0	28,6	31,2	32,1	30,9	28,8
Milchharnstoffgehalt	mg/100 ml	22,0	27,5	30,5	28,2	34,4	32,5
Lauffläche /Tier	m ²	5,1	5,3	4,9	4,8	4,5	4,4
Abstand Gülle von Laufflächenoberfläche	m	-	-	-	-	-	-
Curtains offen	%	100	80	20	100	100	100

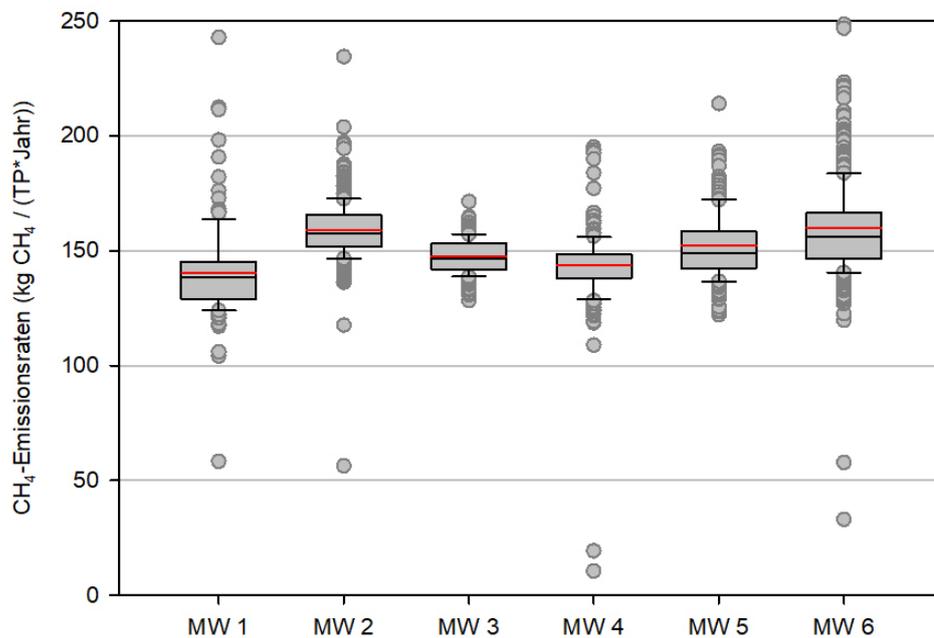


Abbildung 6: CH₄-Emissionsraten (kg CH₄ Tierplatz⁻¹ Jahr⁻¹) für die sechs Messwochen (MW) am Standort Plan 2. Die roten Linien in den Boxen kennzeichnen die arithmetischen Mittelwerte, die schwarzen Linien die Mediane. (© KTBL)

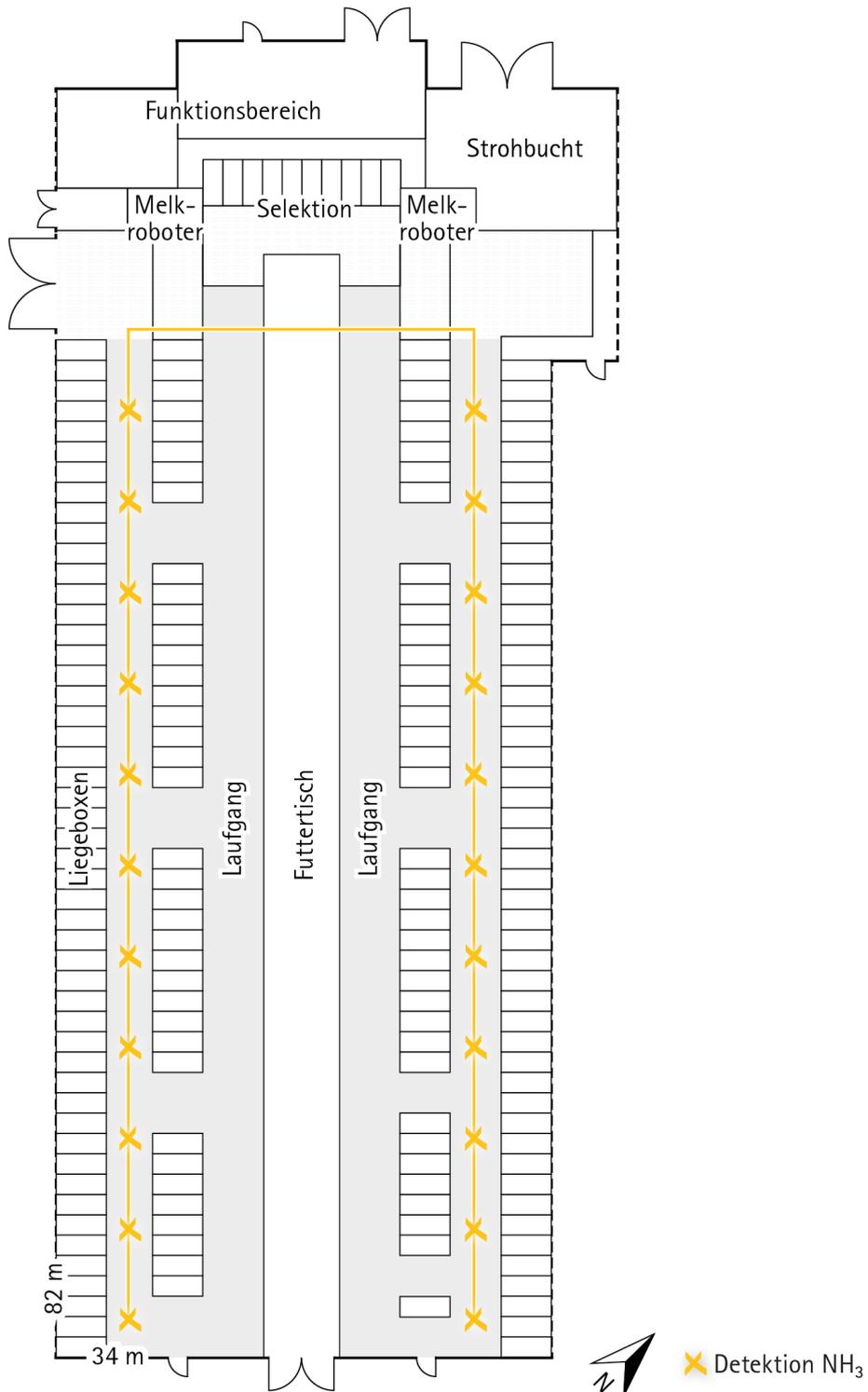


Abbildung 7: Stallansicht Plan 2 mit schematischer Einzeichnung der Detektionslinie und der Probennahmepunkte (gelb) für NH₃, CH₄ und CO₂ (© KTBL)

Standort Plan 3

Standortbeschreibung

Tabelle 1: Kurzprofil des Standorts Plan 3

Haltungs- und Entmistungsverfahren	Einheit	Boxenlaufstall, Laufgang planbefestigt
Baujahr Stallgebäude		2015
Tierplätze	n	140
Grundfläche	m ²	1500
Rasse		Rot- und Schwarzbunt
Melksystem		Roboter
Bodenreinigung		Schieber
Reinigungsfrequenz	n	24x / Tag



Abbildung 1: Luftbildkarte Standort Plan 3 (Luftbild: © Google, verändert). Die Windrose zeigt die prozentuale Häufigkeit der Windrichtungen (Messwerte am Standort); die rote Linie zeigt die Ausrichtung der Firstachse des Stallgebäudes. (© KTBL)



Abbildung 2: Innenansicht Stall am Standort Plan 3 (© KTBL)

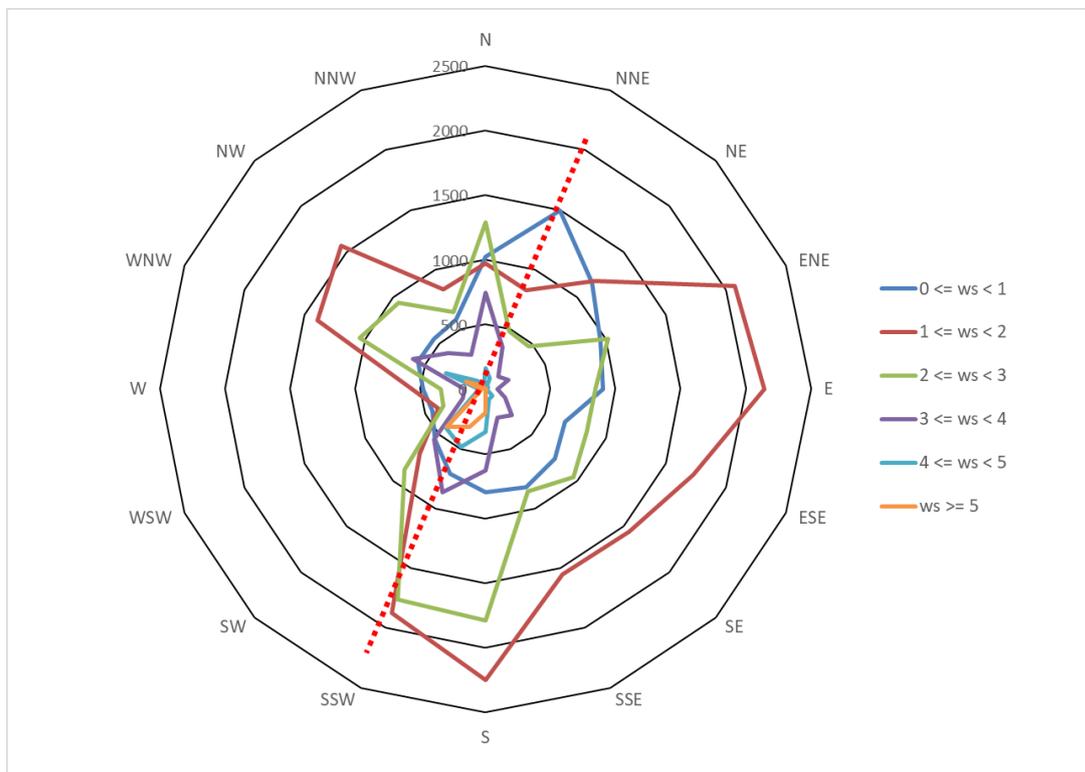


Abbildung 3: Häufigkeit (n) der Windgeschwindigkeitsklasse (außen, in m s^{-1}) nach Windrichtung (°) am Standort Plan 3 (© KTBL)

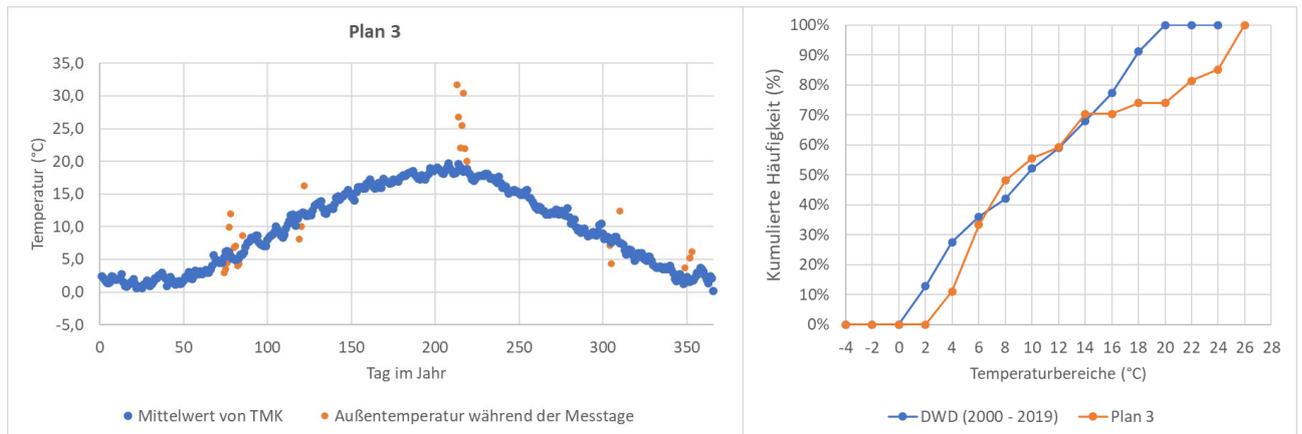


Abbildung 4: Links: Tagesmittel der Außentemperaturen zum Zeitpunkt der Messung (orange) und langjährige Tagesmitteltemperaturen (blaue Punkte, TMK = Tagesmittel Klimastation) der nächstgelegenen DWD-Wetterstation. Rechts: kumulierte Häufigkeit (%) der gemessenen Tagesmitteltemperaturen. (© KTBL)

Emissionsraten in den Messwochen

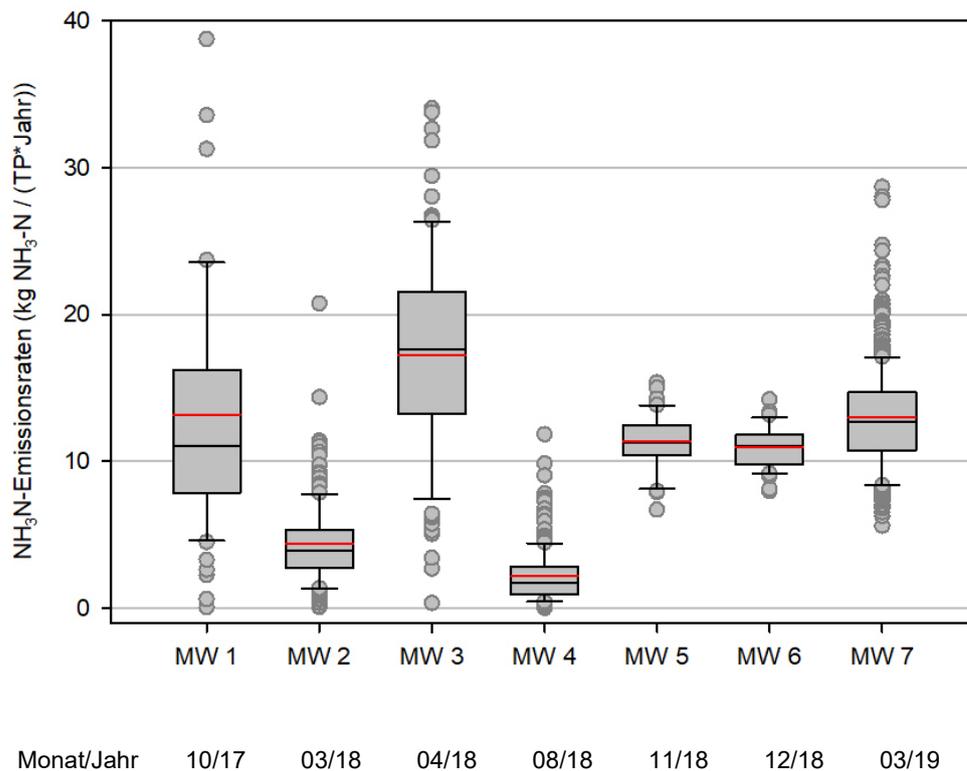


Abbildung 5: $\text{NH}_3\text{-N}$ -Emissionsraten ($\text{kg NH}_3\text{-N Tierplatz}^{-1} \text{ Jahr}^{-1}$) für die sieben Messwochen (MW) am Standort Plan 3. Die roten Linien in den Boxen kennzeichnen die arithmetischen Mittelwerte, die schwarzen Linien die Mediane. (© KTBL)

Tabelle 2: Kennwerte der Messwochen am Standort Plan 3

Kennwerte	Einheit	Messwoche (MW)						
		1	2	3	4	5	6	7
Messdatum	Monat/Jahr	10/17	03/18	04/18	08/18	11/18	12/18	03/19
Durchschnittstemperatur MW	°C	14,4	6,1	11,3	24,6	8,1	2,2	7,1
Anzahl laktierende Tiere	n	108	116	120	115	114	120	118
Anzahl Trockensteher	n	6	3	3	5	8	15	12
Mittleres Gewicht laktierender Tiere	kg	700	700	700	700	700	700	700
Milchleistung pro Tier und Tag	kg	33,0	32,5	33,0	34,0	33,0	35,0	36,0
Milchharnstoffgehalt	mg/100 ml	20,1	17,5	19,5	18,0	20,0	24,0	27,0
Lauffläche /Tier	m ²	5,3	5,0	4,9	5,0	4,9	4,4	4,6
Abstand Gülle von Laufflächenoberfläche	m	-	-	-	-	-	-	-
Curtains offen		50/100	50/100	50/100	50/100	50/100	50/100	50/100

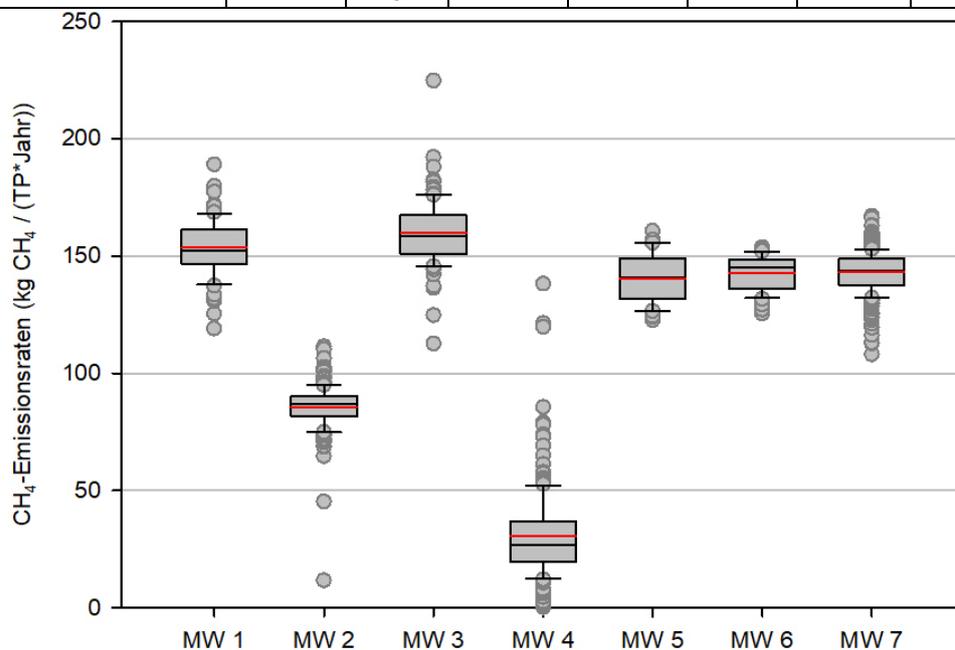


Abbildung 6: CH₄-Emissionsraten (kg CH₄ Tierplatz⁻¹ Jahr⁻¹) für die sieben Messwochen (MW) am Standort Plan 3. Die roten Linien in den Boxen kennzeichnen die arithmetischen Mittelwerte, die schwarzen Linien die Mediane. (© KTBL)

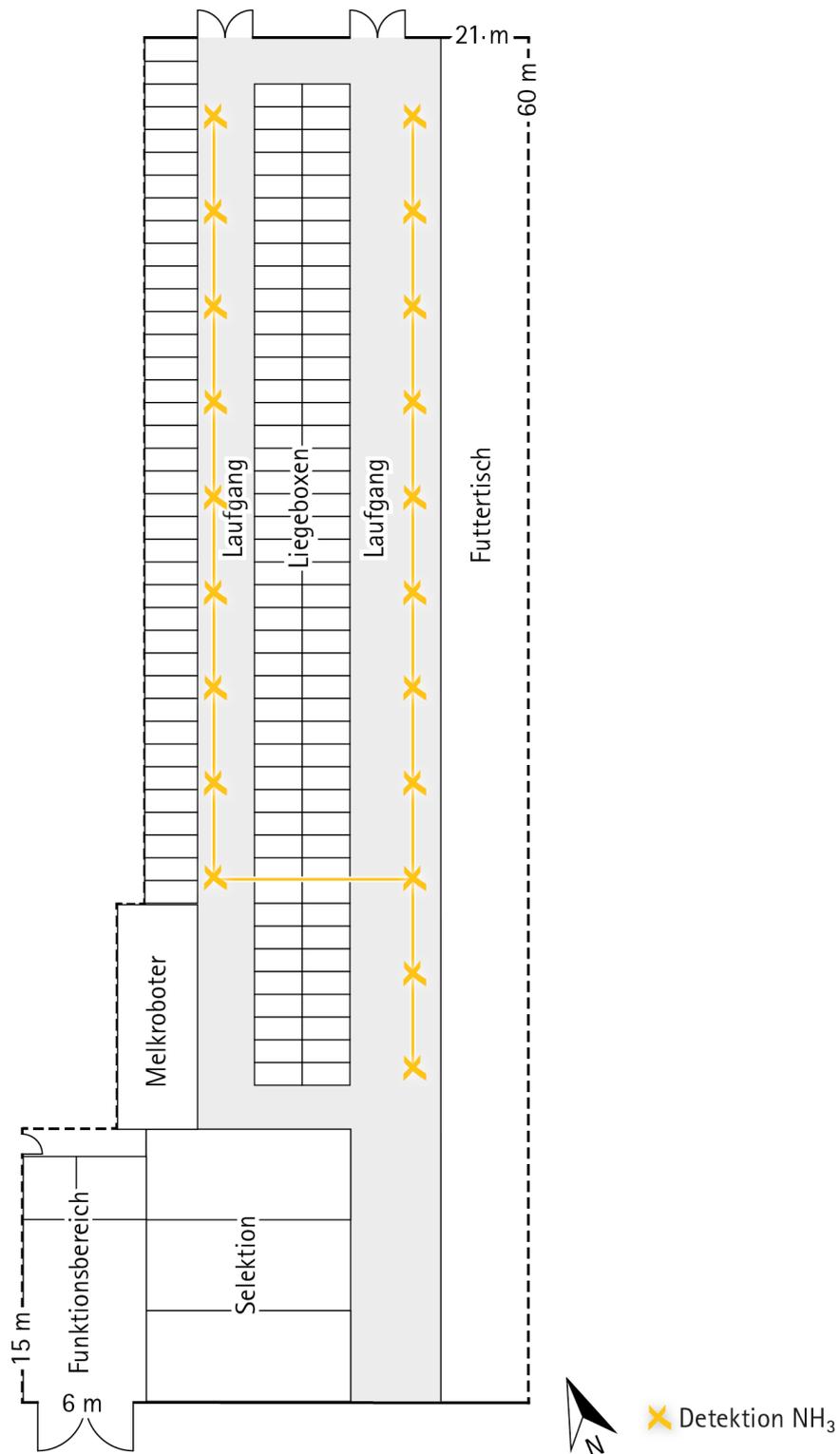


Abbildung 7: Stallansicht Plan 3 mit schematischer Einzeichnung der Detektionslinie und der Probennahmepunkte (gelb) für NH₃, CH₄ und CO₂ (© KTBL)

Standort Plan 4

Standortbeschreibung

Tabelle 1: Kurzprofil des Standorts Plan 4

Haltungs- und Entmistungsverfahren	Einheit	Boxenlaufstall, Laufgang planbefestigt
Baujahr Stallgebäude		2012/2013
Tierplätze	n	300
Grundfläche	m ²	3384 m ²
Rasse		Schwarzbunt
Melksystem		Roboter
Bodenreinigung		Schieber
Reinigungsfrequenz	n	24x / Tag



Abbildung 1: Luftbildkarte Standort Plan 4 (Luftbild: © Google, verändert). Die Windrose zeigt die prozentuale Häufigkeit der Windrichtungen (Messwerte am Standort); die rote Linie zeigt die Ausrichtung der Firstachse des Stallgebäudes. (© KTBL)



Abbildung 2: Innenansicht Stall am Standort Plan 4 (© KTBL)

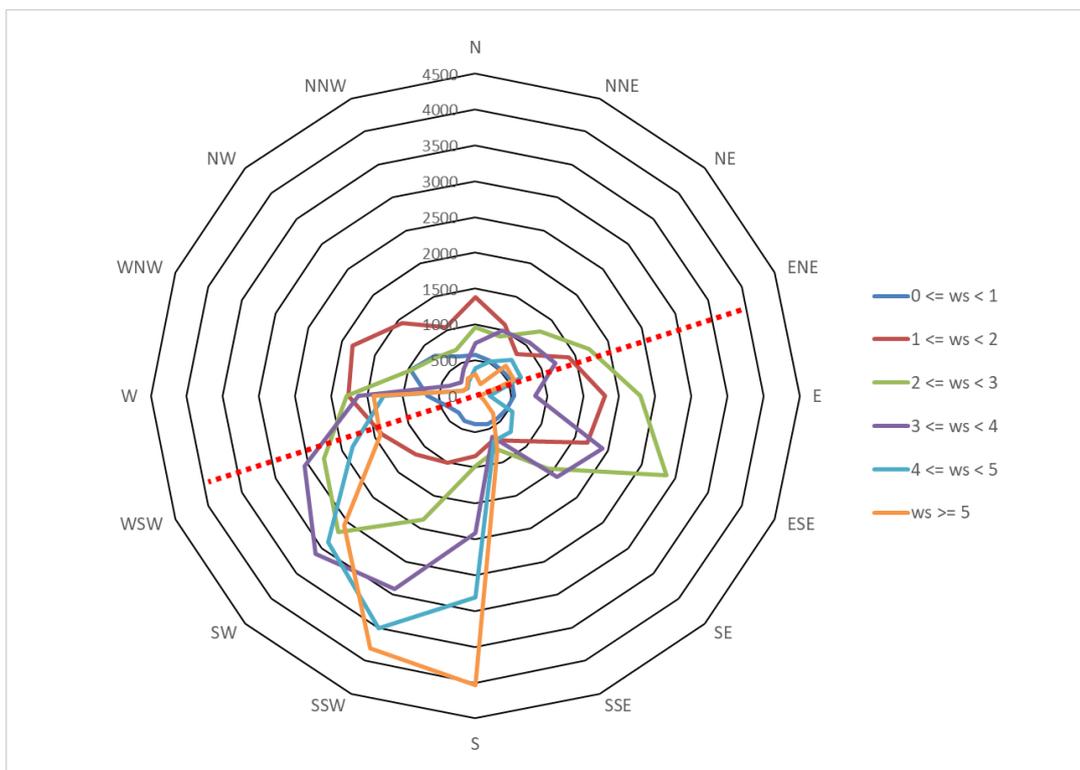


Abbildung 3: Häufigkeit (n) der Windgeschwindigkeitsklasse (außen, in $m s^{-1}$) nach Windrichtung ($^{\circ}$) am Standort Plan 4 (© KTBL)

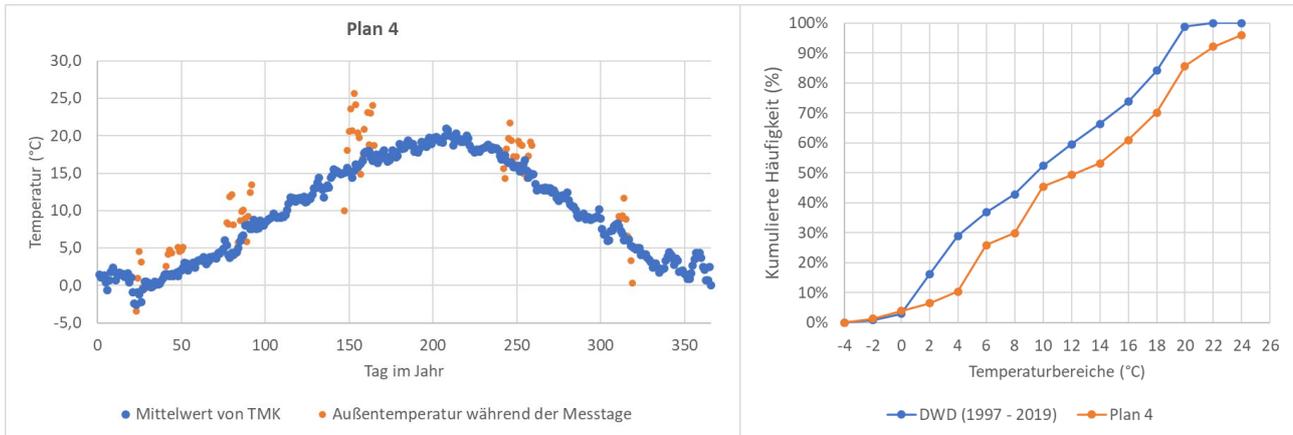


Abbildung 4: Links: Tagesmittel der Außentemperaturen zum Zeitpunkt der Messung (orange) und langjährige Tagesmitteltemperaturen (blaue Punkte, TMK = Tagesmittel Klimastation) der nächstgelegenen DWD-Wetterstation. Rechts: kumulierte Häufigkeit (%) der gemessenen Tagesmitteltemperaturen. (© KTBL)

Emissionsraten in den Messwochen

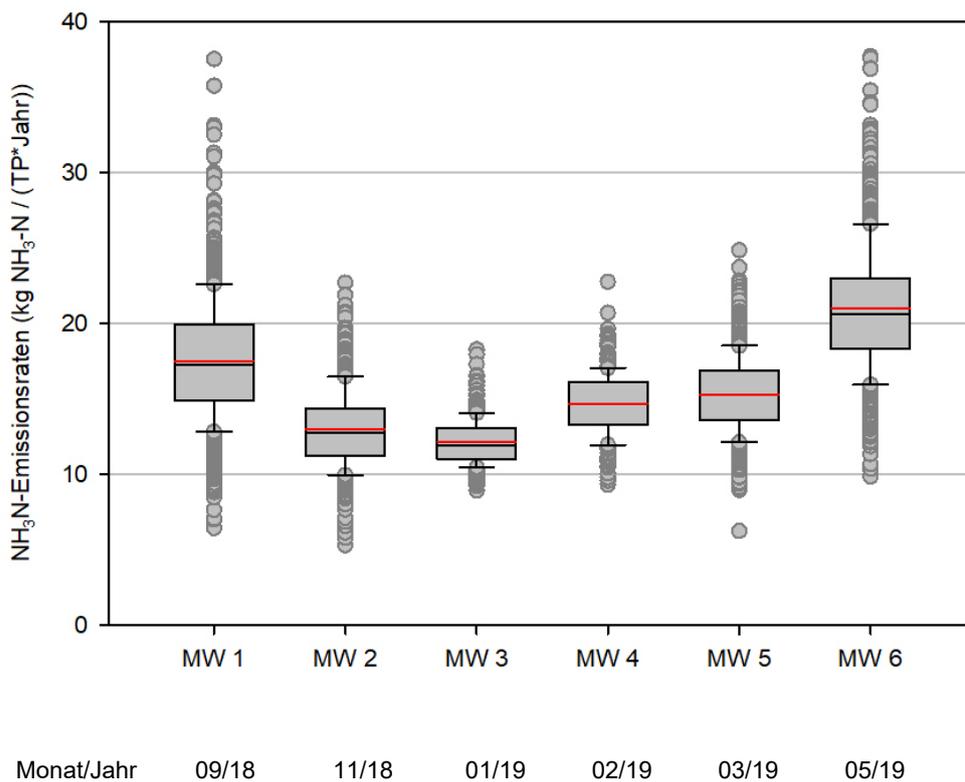


Abbildung 5: $\text{NH}_3\text{-N}$ -Emissionsraten ($\text{kg NH}_3\text{-N Tierplatz}^{-1} \text{ Jahr}^{-1}$) für die sechs Messwochen (MW) am Standort Plan 4. Die roten Linien in den Boxen kennzeichnen die arithmetischen Mittelwerte, die schwarzen Linien die Mediane. (© KTBL)

Tabelle 2: Kennwerte der Messwochen am Standort Plan 4

Kennwerte	Einheit	Messwoche (MW)					
		1	2	3	4	5	6
Messdatum	Monat/Jahr	09/18	11/18	01/19	02/19	03/19	05/19
Durchschnittstemperatur MW	°C	18,6	6,8	-0,3	5,0	9,6	20,5
Anzahl laktierende Tiere	n	215	213	223	223	222	217
Anzahl Trockensteher	n	36	40	23	22	24	34
Mittleres Gewicht laktierender Tiere	kg	650	650	650	650	650	650
Milchleistung pro Tier und Tag	kg	35,5	35,5	38	38,0	37,0	36,3
Milchharnstoffgehalt	mg/100 ml	21,0	21,0	23,5	23,0	21,7	25,0
Lauffläche /Tier	m ²	5,4	5,3	5,5	5,5	5,5	5,4
Abstand Gülle von Laufflächenoberfläche	m	-	-	-	-	-	-
Curtains offen	%	100	100	5/16	19/17	37	100

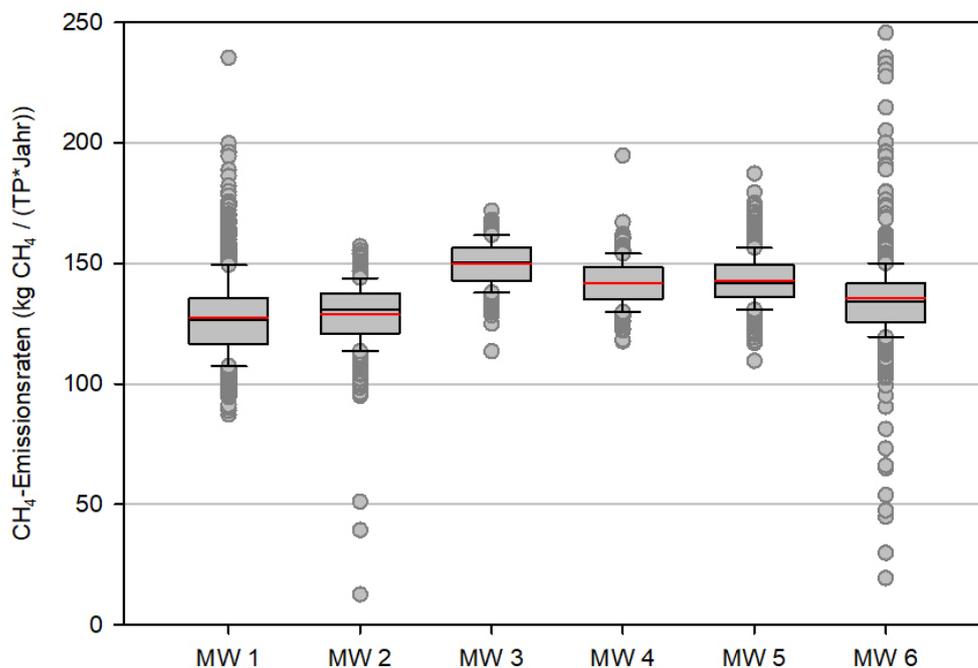


Abbildung 6: CH₄-Emissionsraten (kg CH₄ Tierplatz⁻¹ Jahr⁻¹) für die sechs Messwochen (MW) am Standort Plan 4. Die roten Linien in den Boxen kennzeichnen die arithmetischen Mittelwerte, die schwarzen Linien die Mediane. (© KTBL)



Abbildung 7: Stallansicht Plan 4 mit schematischer Einzeichnung der Detektionslinie und der Probenahmeplätze (gelb) für NH₃, CH₄ und CO₂ (© KTBL)

Standort Spalte 1

Tabelle 1: Kurzprofil des Standorts Spalte 1

Haltungs- und Entmistungsverfahren	Einheit	Boxenlaufstall, Laufgang mit Spaltenboden
Baujahr Stallgebäude		2004
Tierplätze	n	94
Grundfläche	m ²	1010
Rasse		Fleckvieh
Melksystem		Melkstand
Bodenreinigung		Hofschlepper
Reinigungsfrequenz	n	2x / Tag
Tiefe Güllekanäle	m	1,4

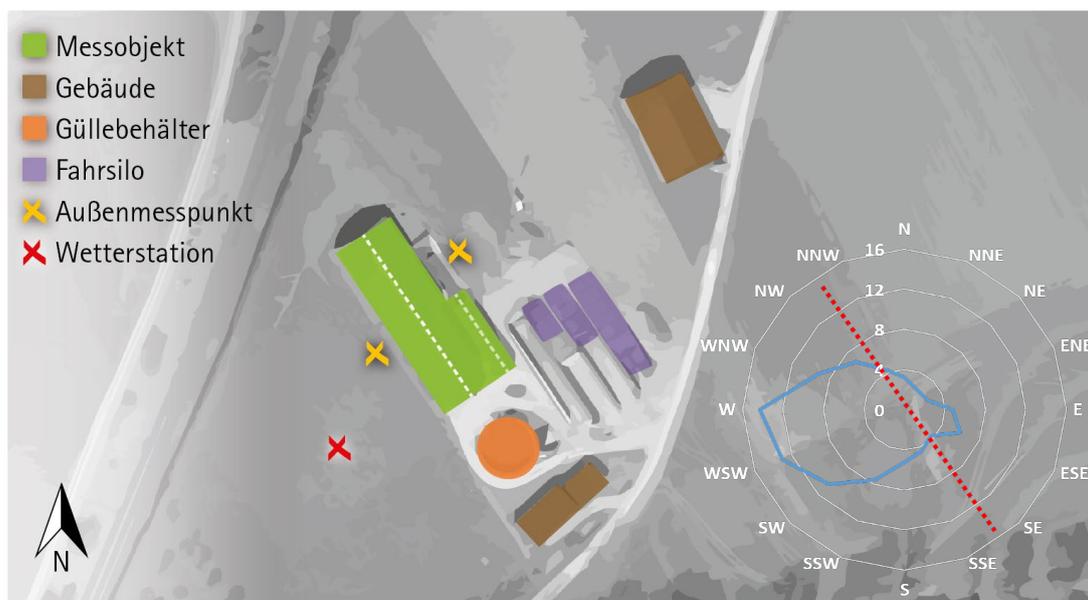


Abbildung 1: Luftbildkarte Standort Spalte 1 (Luftbild: © Google, verändert). Die Windrose zeigt die prozentuale Häufigkeit der Windrichtungen (Messwerte am Standort); die rote Linie zeigt die Ausrichtung der Firstachse des Stallgebäudes. (© KTBL)



Abbildung 2: Innenansicht Stall am Standort Spalte 1 (© KTBL)

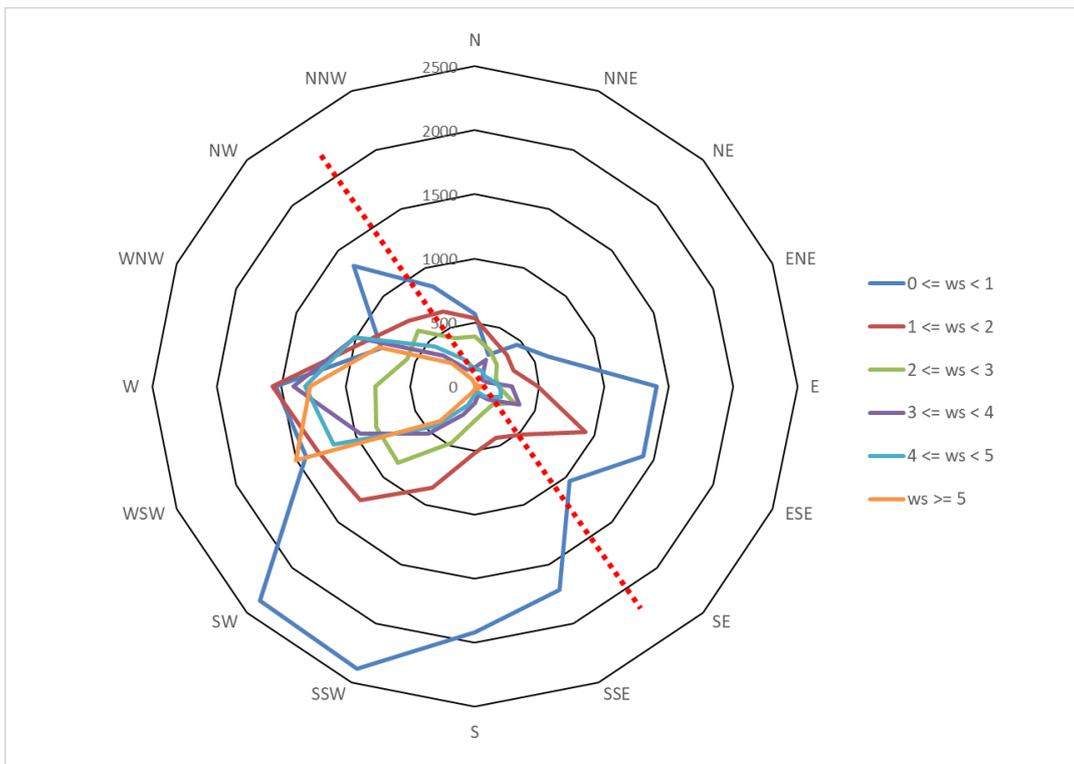


Abbildung 3: Häufigkeit (n) der Windgeschwindigkeitsklasse (außen, in $m s^{-1}$) nach Windrichtung ($^{\circ}$) am Standort Spalte 1 (© KTBL)

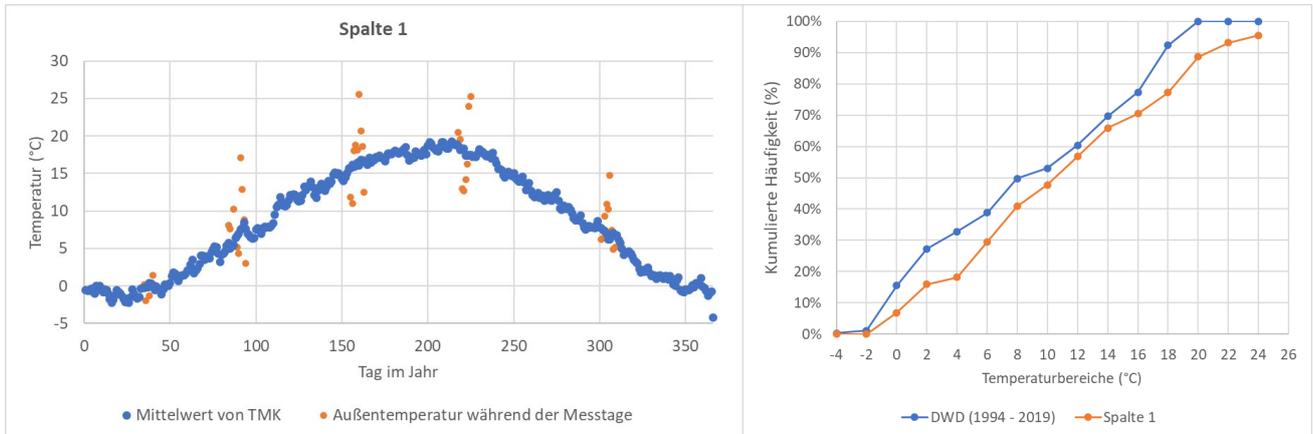


Abbildung 4: Links: Tagesmittel der Außentemperaturen zum Zeitpunkt der Messung (orange) und langjährige Tagesmitteltemperaturen (blaue Punkte, TMK = Tagesmittel Klimastation) der nächstgelegenen DWD-Wetterstation. Rechts: kumulierte Häufigkeit (%) der gemessenen Tagesmitteltemperaturen. (© KTBL)

Emissionsraten in den Messwochen

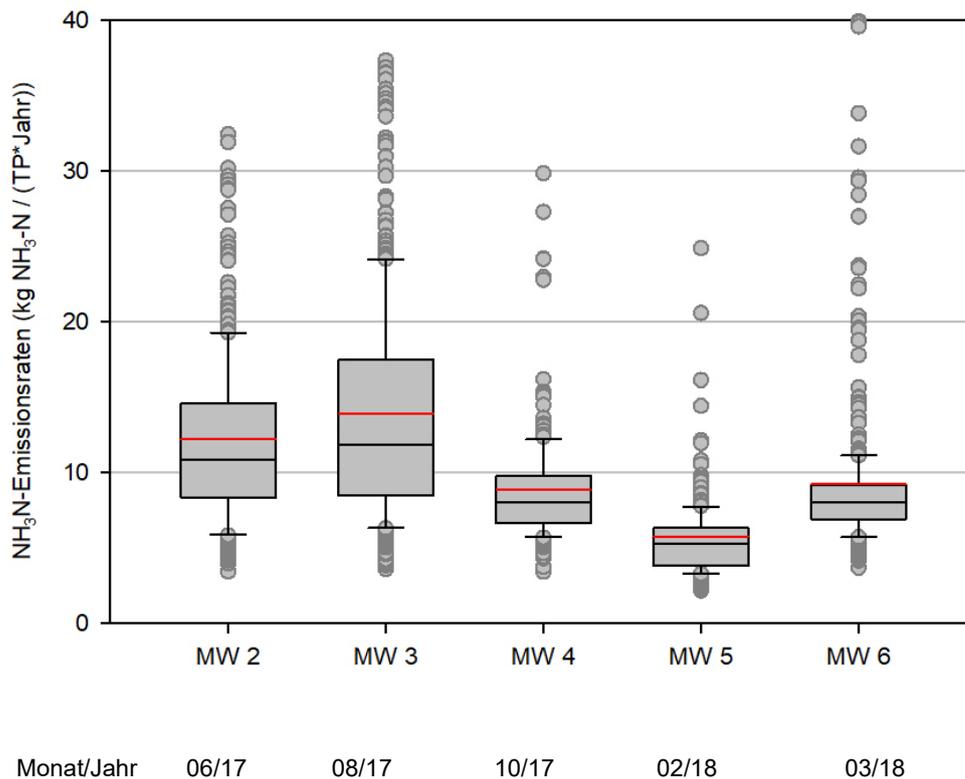


Abbildung 5: $\text{NH}_3\text{-N}$ -Emissionsraten ($\text{kg NH}_3\text{-N Tierplatz}^{-1} \text{ Jahr}^{-1}$) für die fünf Messwochen (MW) am Standort Spalte 1. Die roten Linien in den Boxen kennzeichnen die arithmetischen Mittelwerte, die schwarzen Linien die Mediane. (© KTBL)

Tabelle 2: Kennwerte der Messwochen am Standort Spalte 1

Kennwerte	Einheit	Messwoche (MW)				
		2	3	4	5	6
Messdatum	Monat/Jahr	06/17	08/17	11/17	02/18	03/18
Durchschnittstemperatur MW	°C	15,6	16,7	6,3	5,8	7,6
Anzahl laktierende Tiere	n	78	85	82	83	88
Anzahl Trockensteher	n	19	13	15	18	15
Mittleres Gewicht laktierender Tiere	kg	666	666	666	680	690
Milchleistung pro Tier und Tag	kg	25,3	24,8	23,8	25,8	26,5
Milchharnstoffgehalt	mg/100 ml	23	24	23	22	25
Lauffläche /Tier	m ²	3,4	3,3	3,4	3,2	3,2
Abstand Gülle von Laufflächenoberfläche	m	1,0	1,0	0,9	0,8	0,5
Curtains offen	%	75	50	0	0	0

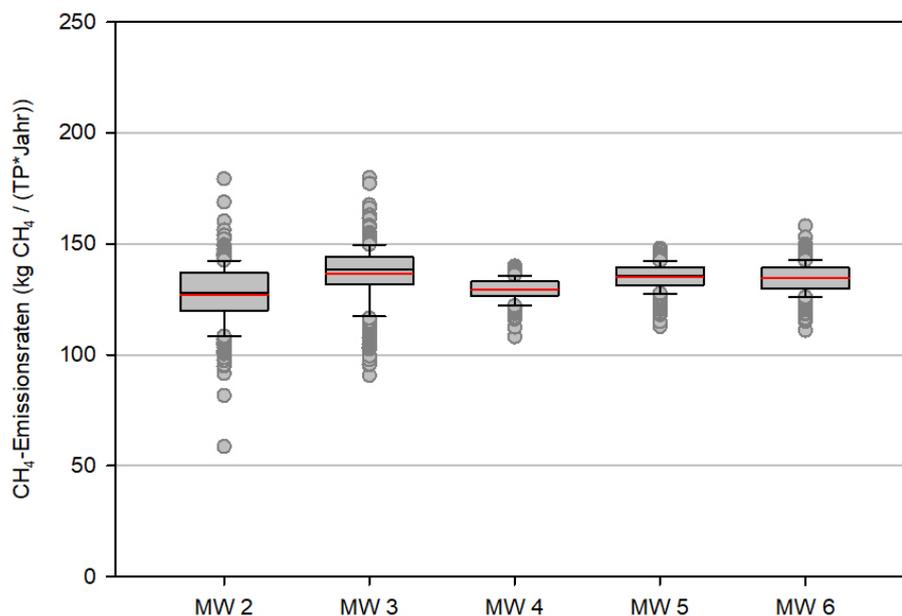


Abbildung 6: CH₄-Emissionsraten (kg CH₄ Tierplatz⁻¹ Jahr⁻¹) für die fünf Messwochen (MW) am Standort Spalte 1. Die roten Linien in den Boxen kennzeichnen die arithmetischen Mittelwerte, die schwarzen Linien die Mediane. (© KTBL)

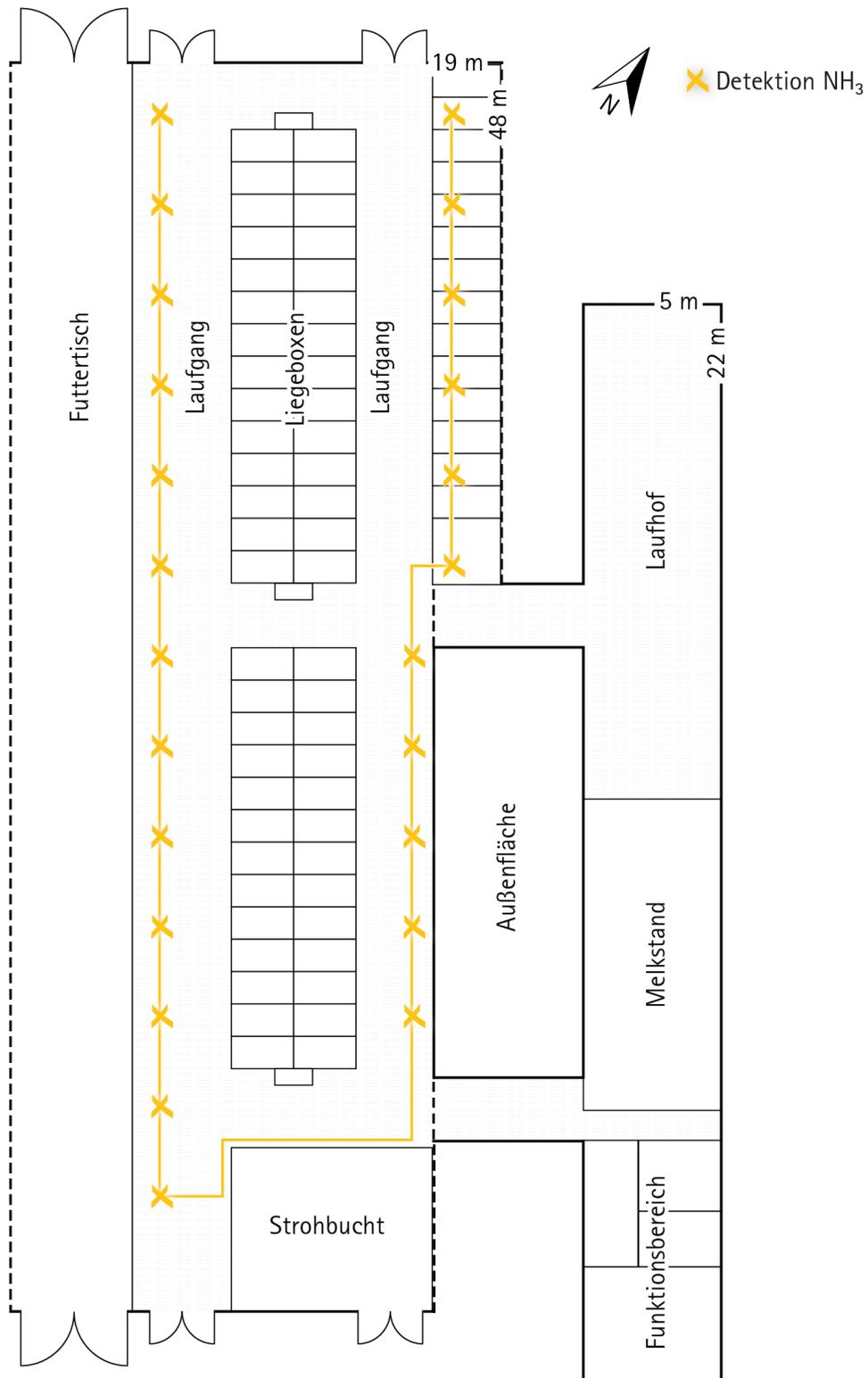


Abbildung 7: Stallansicht Spalte 1 mit schematischer Einzeichnung der Detektionslinie und der Probennahmepunkte (gelb) für NH₃, CH₄ und CO₂ (© KTBL)

Standort Spalte 2

Standortbeschreibung

Tabelle 1: Kurzprofil des Standorts Spalte 2

Haltungs- und Entmistungsverfahren	Einheit	Boxenlaufstall, Laufgang mit Spaltenboden
Baujahr Stallgebäude		2010
Tierplätze	n	80
Grundfläche	m ²	975
Rasse		Fleckvieh
Melksystem		Roboter
Bodenreinigung		Hofschlepper
Reinigungsfrequenz	n	1x / Tag
Tiefe Güllekanäle	m	1,25

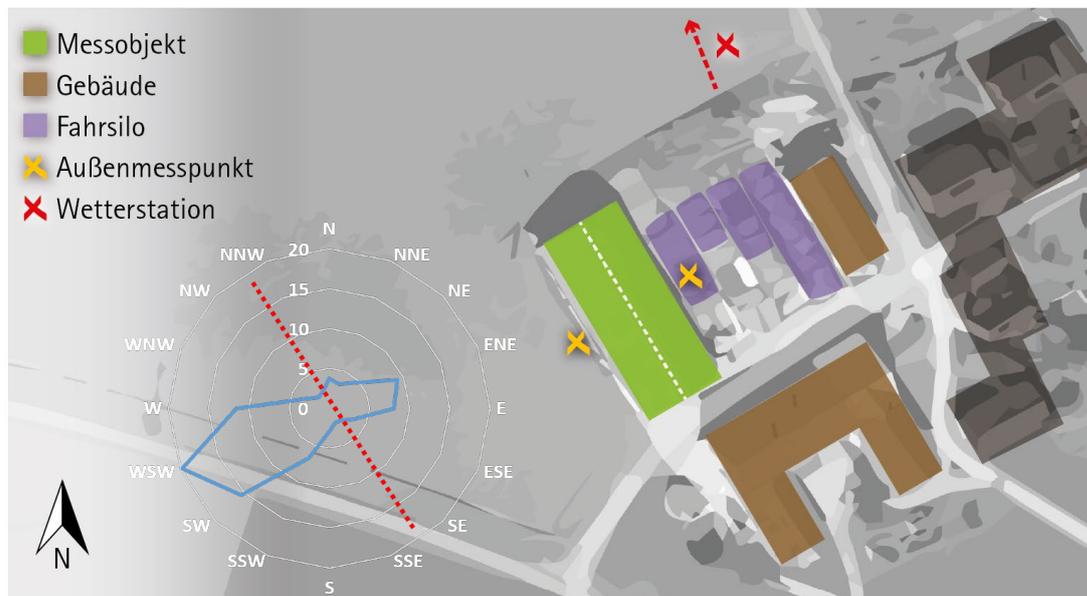


Abbildung 1: Luftbildkarte Standort Spalte 2 (Luftbild: © Google, verändert). Die Windrose zeigt die prozentuale Häufigkeit der Windrichtungen (Messwerte am Standort); die rote Linie zeigt die Ausrichtung der Firstachse des Stallgebäudes. (© KTBL)



Abbildung 2: Innenansicht Stall am Standort Spalte 2 (© KTBL)

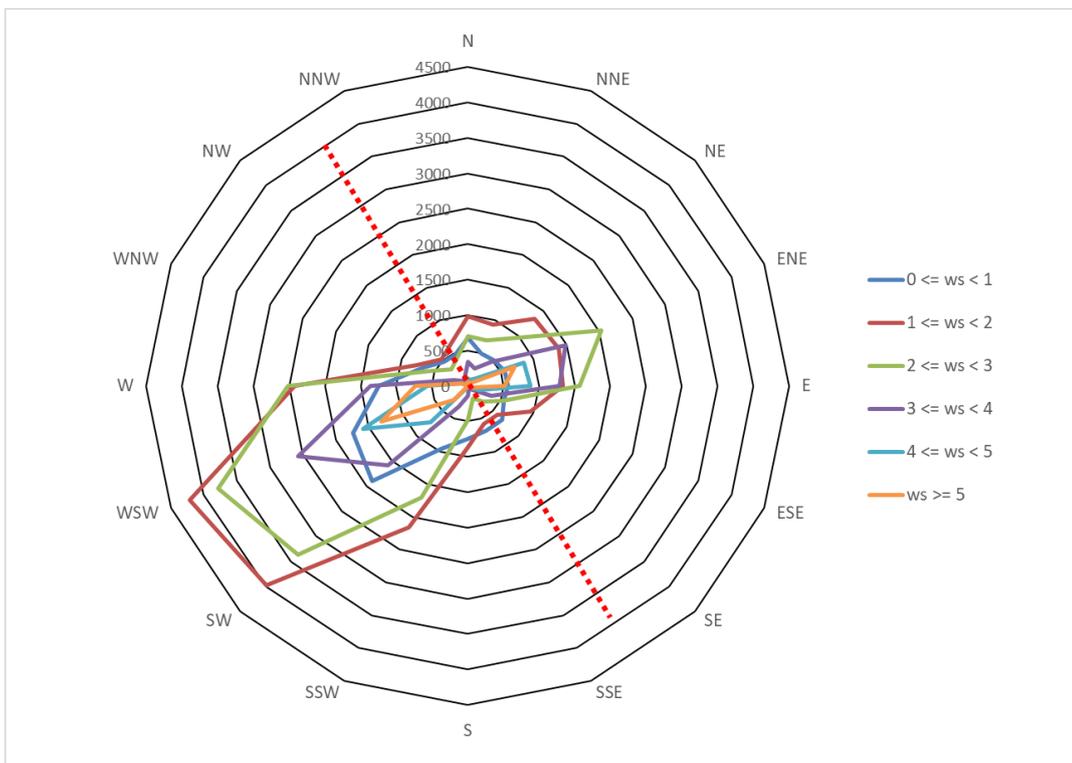


Abbildung 3: Häufigkeit (n) der Windgeschwindigkeitsklasse (außen, in m s^{-1}) nach Windrichtung ($^{\circ}$) am Standort Spalte 2 (© KTBL)

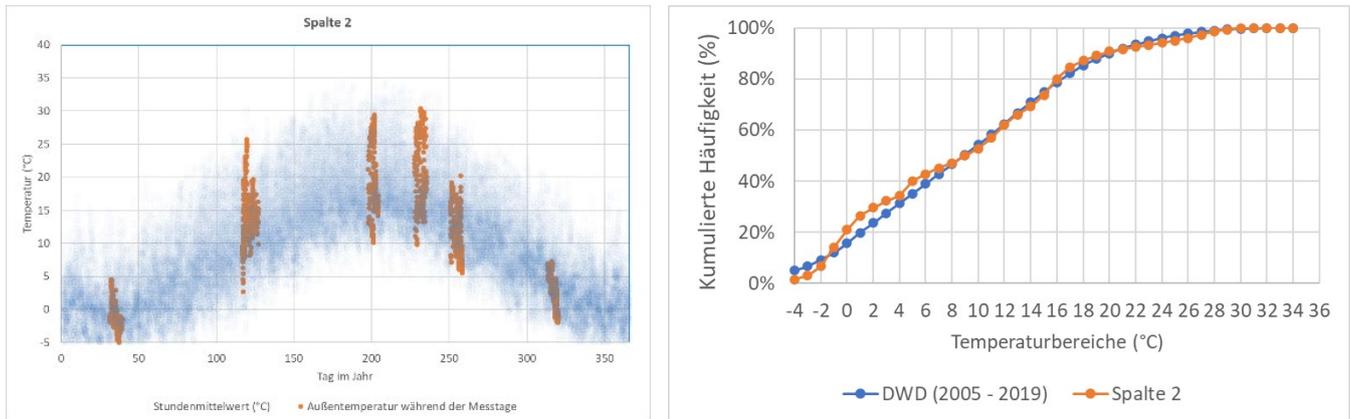


Abbildung 4: Links: Stundenmittelwerte der Außentemperaturen zum Zeitpunkt der Messung (orange) und langjährige Tagesmitteltemperaturen (blaue Punkte, TMK = Tagesmittel Klimastation) der nächstgelegenen DWD-Wetterstation. Rechts: kumulierte Häufigkeit (%) der gemessenen Tagesmitteltemperaturen. (© KTBL)

Emissionsraten in den Messwochen

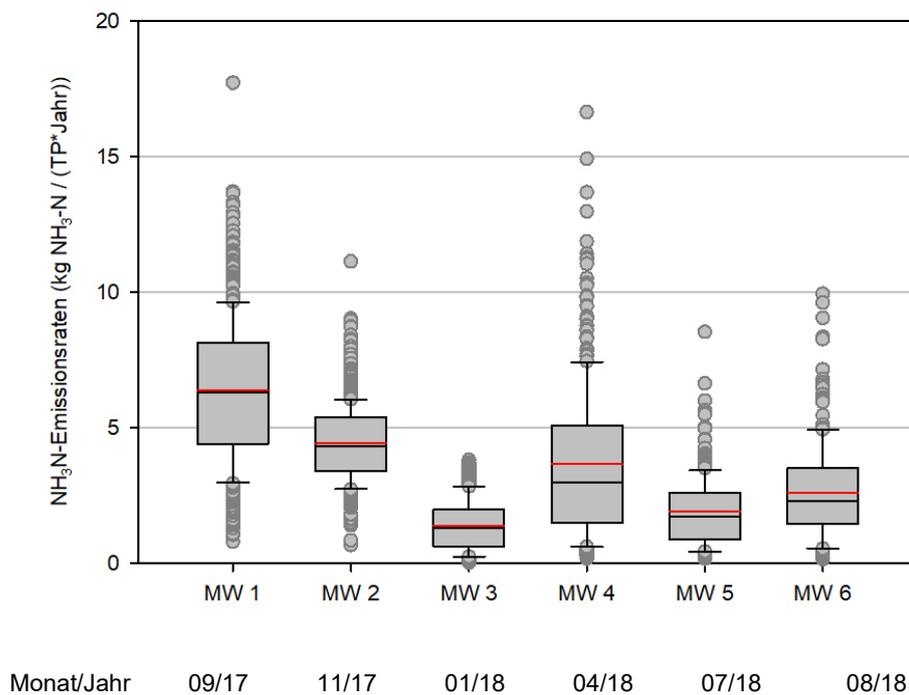


Abbildung 5: NH₃-N-Emissionsraten (kg NH₃-N Tierplatz⁻¹ Jahr⁻¹) für die sechs Messwochen (MW) am Standort Spalte 2. Die roten Linien in den Boxen kennzeichnen die arithmetischen Mittelwerte, die schwarzen Linien die Mediane. (© KTBL)

Tabelle 2: Kennwerte der Messwochen am Standort Spalte 2

Kennwerte	Einheit	Messwoche (MW)					
		1	2	3	4	5	6
Messdatum	Monat/Jahr	09/17	11/17	01/18	04/18	07/18	08/18
Durchschnittstemperatur MW	°C	13,7	2,5	-1,4	14,1	18,9	21,7
Anzahl laktierende Tiere	n	61	64	67	69	67	65
Anzahl Trockensteher	n	19	11	11	8	10	12
Mittleres Gewicht laktierender Tiere	kg	689	693	774	761	727	653
Milchleistung pro Tier und Tag	kg	27,2	29	29,5	29	26	28
Milchharnstoffgehalt	mg/100 ml	23,2	25,6	23,1	24	20	18,5
Lauffläche /Tier	m ²	3,9	4,0	4,0	3,9	3,8	4,0
Abstand Gülle von Laufflächenoberfläche	m	0,9	0,9	0,2	0,5	0,5	0,5
Curtains offen	%	75/100	90/0	3/0	90/60	100/85	100

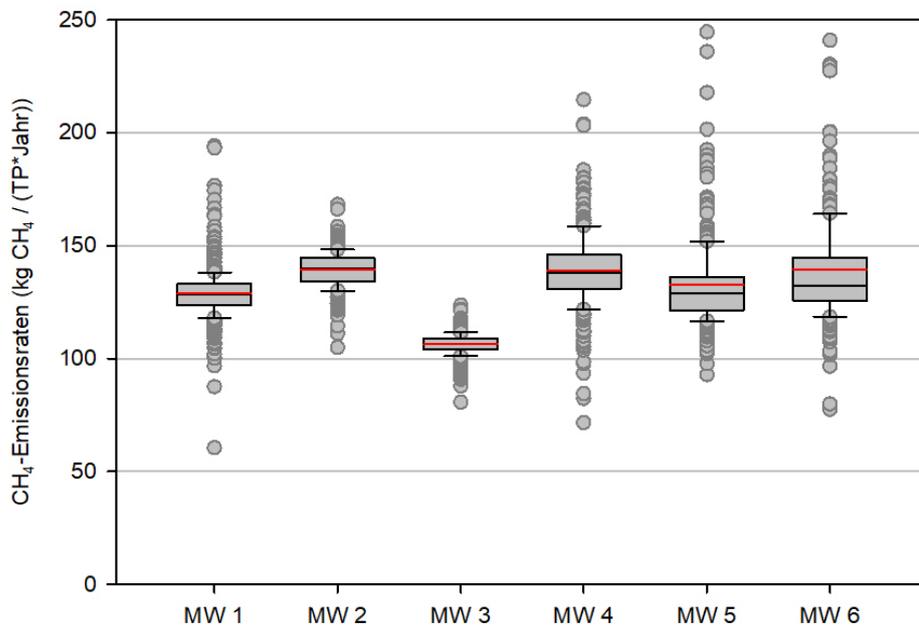


Abbildung 6: CH₄-Emissionsraten (kg CH₄ Tierplatz⁻¹ Jahr⁻¹) für die sechs Messwochen (MW) am Standort Spalte 2. Die roten Linien in den Boxen kennzeichnen die arithmetischen Mittelwerte, die schwarzen Linien die Mediane. (© KTBL)

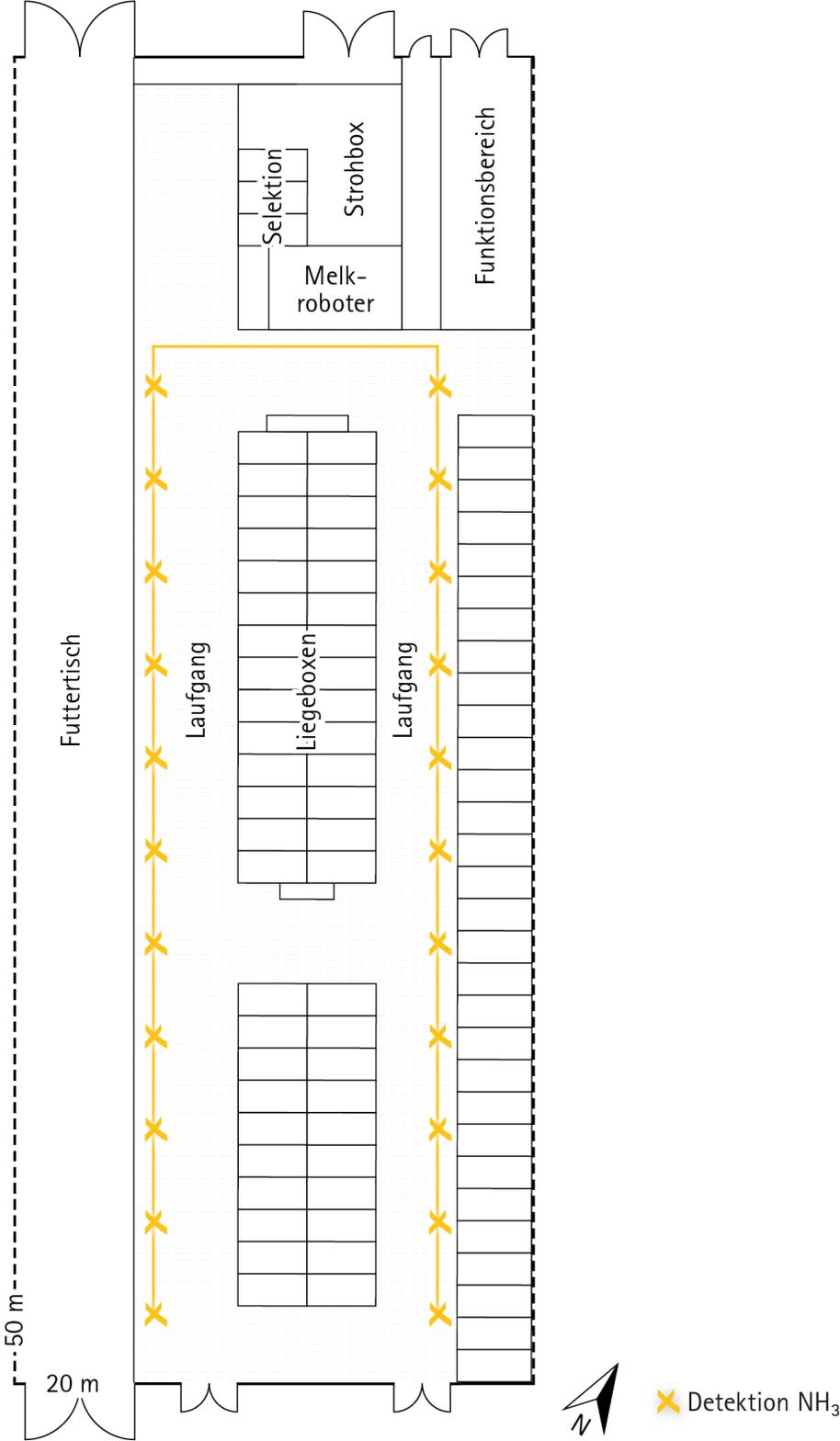


Abbildung 7: Stallansicht Spalte 2 mit schematischer Einzeichnung der Detektionslinie und der Probennahmepunkte (gelb) für NH₃, CH₄ und CO₂ (© KTBL)

Standort Spalte 3

Standortbeschreibung

Tabelle 1: Kurzprofil des Standorts Spalte 3

Haltungs- und Entmistungsverfahren	Einheit	Boxenlaufstall, Laufgang mit Spaltenboden
Baujahr Stallgebäude		2012
Tierplätze	n	164
Grundfläche	m ²	2180
Rasse		Schwarzbunt
Melksystem		Roboter
Bodenreinigung		Roboter
Reinigungsfrequenz	n	8x / Tag
Tiefe Güllekanäle	m	1,8

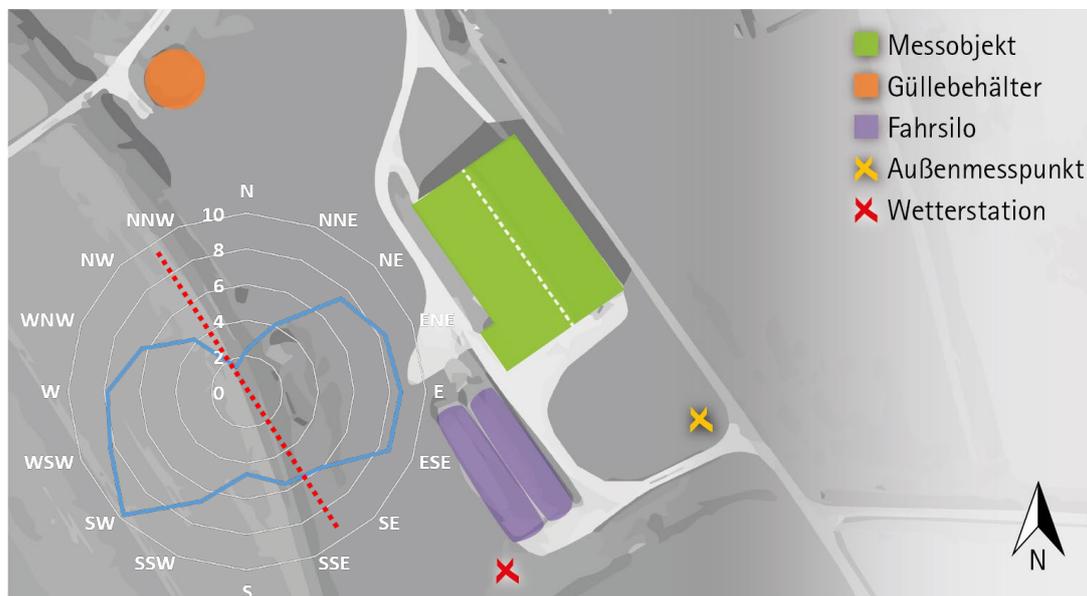


Abbildung 1: Luftbildkarte Standort Spalte 3 (Luftbild: © Google, verändert). Die Windrose zeigt die prozentuale Häufigkeit der Windrichtungen (Messwerte am Standort); die rote Linie zeigt die Ausrichtung der Firstachse des Stallgebäudes. (© KTBL)



Abbildung 2: Innenansicht Stall am Standort Spalte 3 (© KTBL)

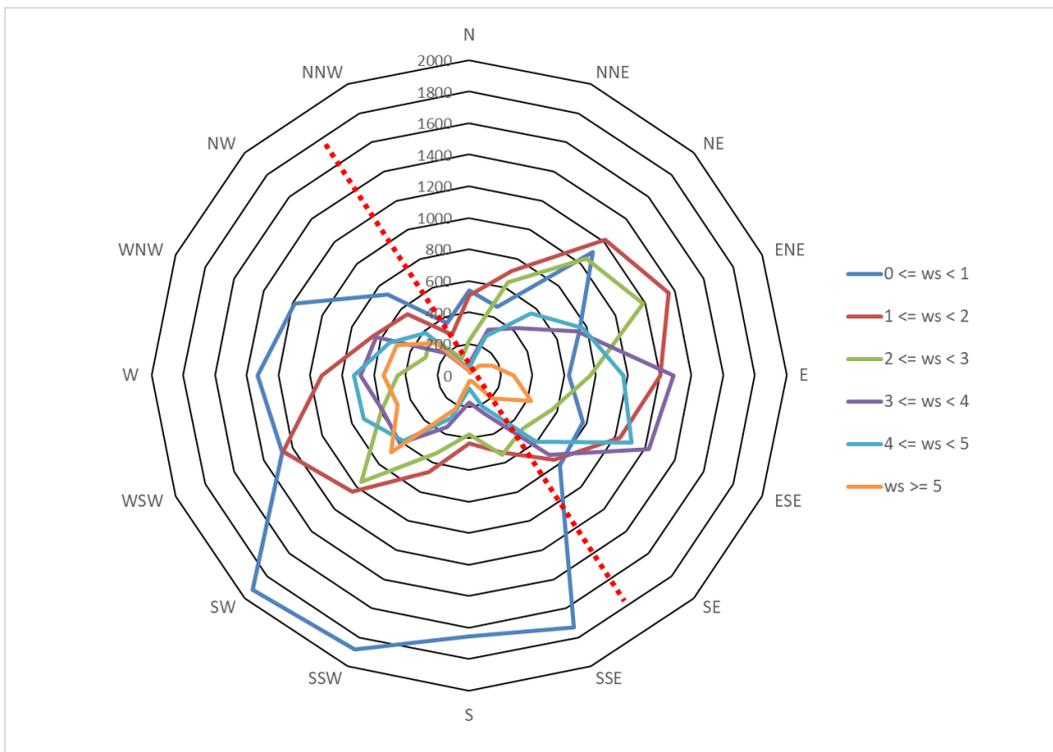


Abbildung 3: Häufigkeit (n) der Windgeschwindigkeitsklasse (außen, in $m s^{-1}$) nach Windrichtung ($^{\circ}$) am Standort Spalte 3 (© KTBL)

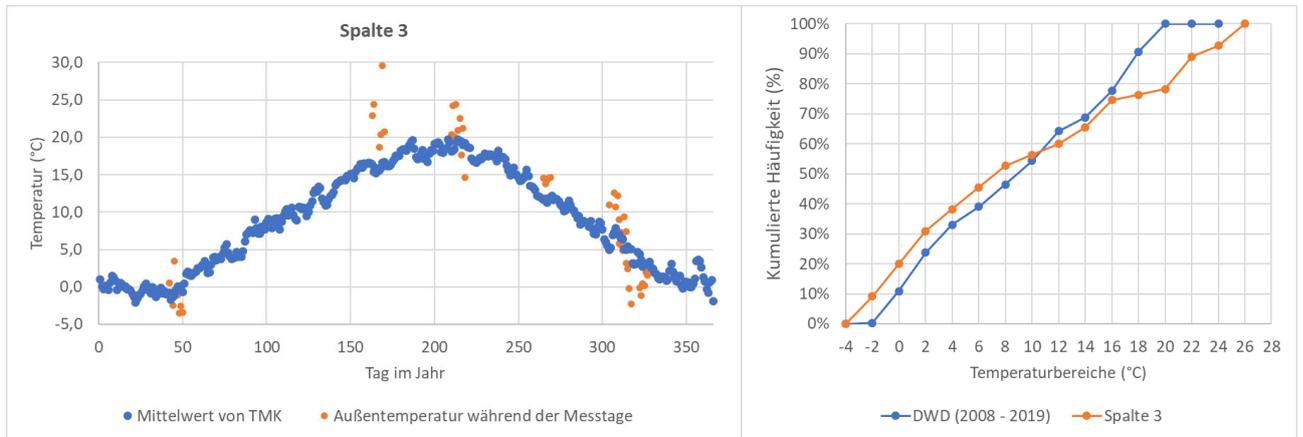


Abbildung 4: Links: Tagesmittel der Außentemperaturen zum Zeitpunkt der Messung (orange) und langjährige Tagesmitteltemperaturen (blaue Punkte, TMK = Tagesmittel Klimastation) der nächstgelegenen DWD-Wetterstation. Rechts: kumulierte Häufigkeit (%) der gemessenen Tagesmitteltemperaturen. (© KTBL)

Emissionsraten in den Messwochen

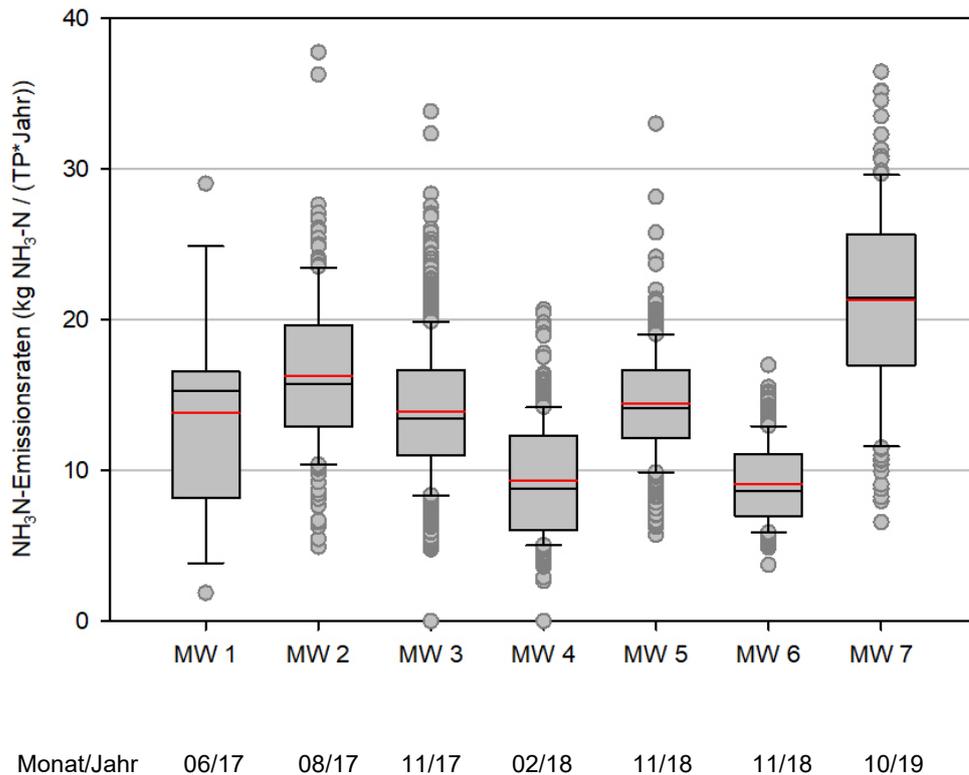


Abbildung 5: NH₃-N-Emissionsraten (kg NH₃-N Tierplatz⁻¹ Jahr⁻¹) für die sieben Messwochen (MW) am Standort Spalte 3. Die roten Linien in den Boxen kennzeichnen die arithmetischen Mittelwerte, die schwarzen Linien die Mediane. (© KTBL)

Tabelle 2: Kennwerte der Messwochen am Standort Spalte 3

Kennwerte	Einheit	Messwoche (MW)						
		1	2	3	4	5	6	7
Messdatum	Monat/Jahr	06/17	08/17	11/17	02/18	11/18	11/18	10/19
Durchschnittstemperatur MW	°C	19,1	20,2	4,0	-2,0	8,0	0,8	14,1
Anzahl laktierende Tiere	n	149	163	170	167	163	164	158
Anzahl Trockensteher	n	27	25	18	16	12	10	13
Mittleres Gewicht laktierender Tiere	kg	670	670	670	705	661	670	670
Milchleistung pro Tier und Tag	kg	33,3	32,9	33,8	31,5	32,8	33,1	33
Milchharnstoffgehalt	mg/100 ml	25,5	22,5	20	23,6	23,7	24	29,3
Lauffläche /Tier	m ²	5,2	4,9	4,8	4,7	4,8	4,9	5,0
Abstand Gülle von Laufflächenoberfläche	m	1,1	1,2	0,9	0,1	0,3	1,1	0,8
Curtains offen	%	100	100	100	30/20	100	100	100

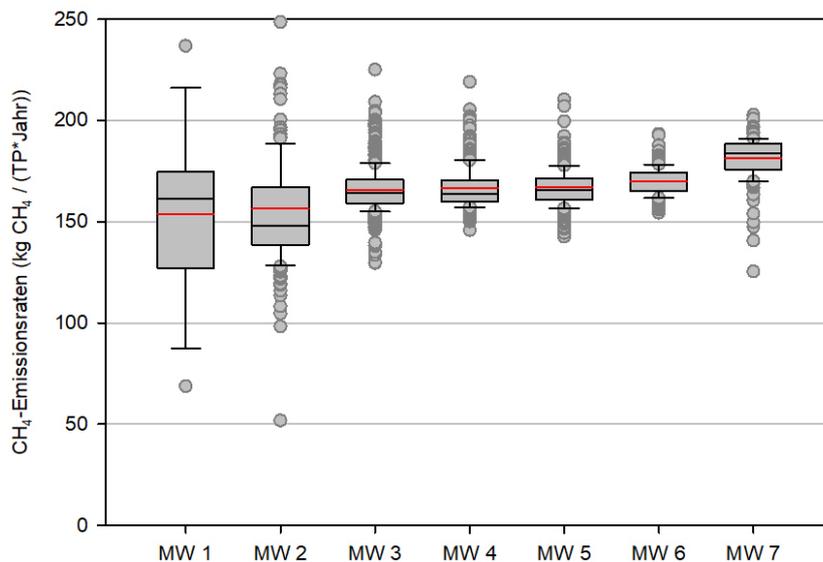


Abbildung 6: CH₄-Emissionsraten (kg CH₄ Tierplatz⁻¹ Jahr⁻¹) für die sieben Messwochen (MW) am Standort Spalte 3. Die roten Linien in den Boxen kennzeichnen die arithmetischen Mittelwerte, die schwarzen Linien die Mediane. (© KTBL)

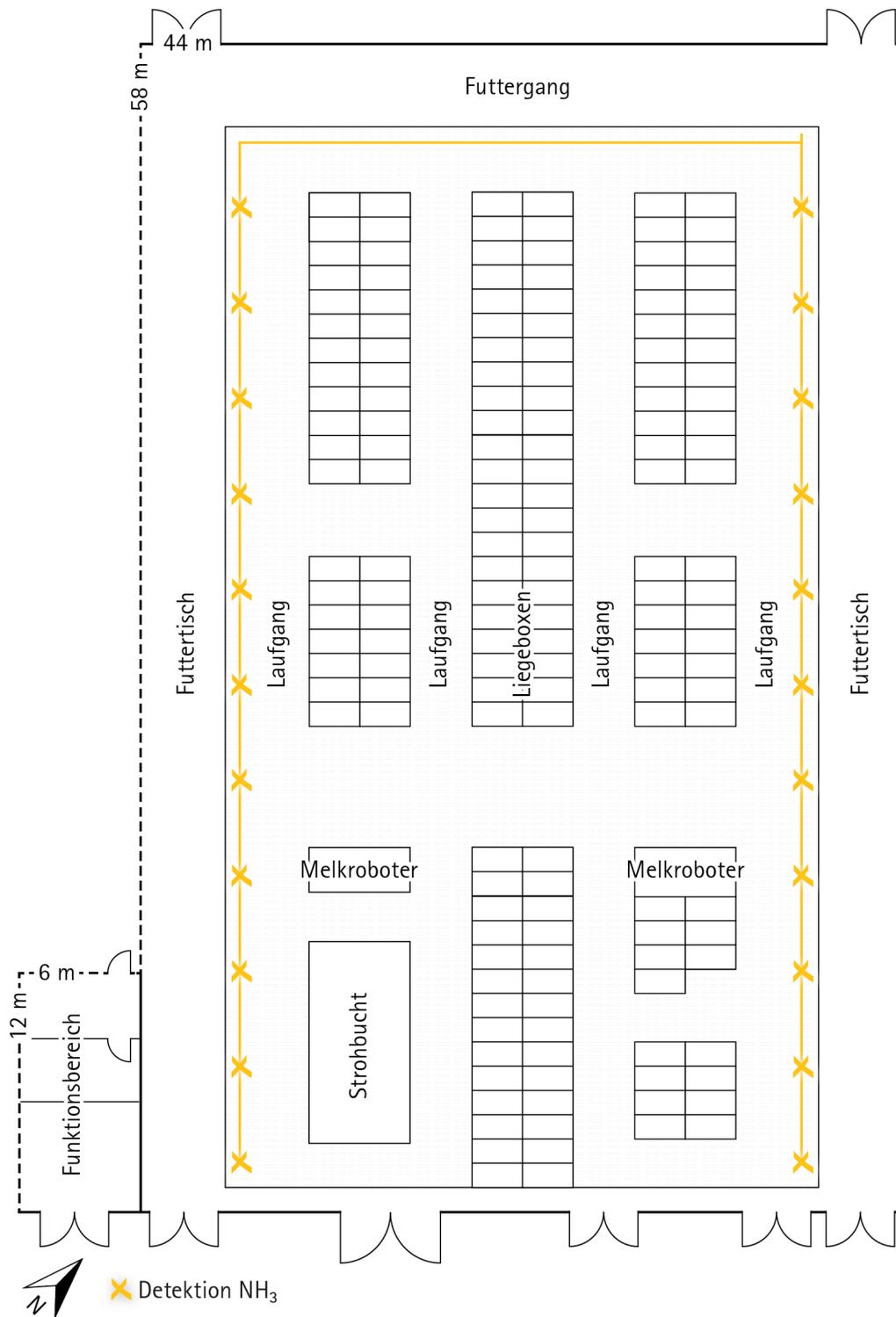


Abbildung 7: Stallansicht Spalte 3 mit schematischer Einzeichnung der Detektionslinie und der Probennahmepunkte (gelb) für NH_3 , CH_4 und CO_2 (© KTBL)

Standort Spalte 4

Standortbeschreibung

Tabelle 1: Kurzprofil des Standorts Spalte 4

Haltungs- und Entmistungsverfahren	Einheit	Boxenlaufstall, Laufgang mit Spaltenboden, Weidegang
Baujahr Stallgebäude		2001
Tierplätze	n	82
Grundfläche	m ²	1417
Rasse		Fleckvieh
Melksystem		Roboter
Bodenreinigung		Roboter
Reinigungsfrequenz	n	12x / Tag
Tiefe Güllekanäle	m	1,25

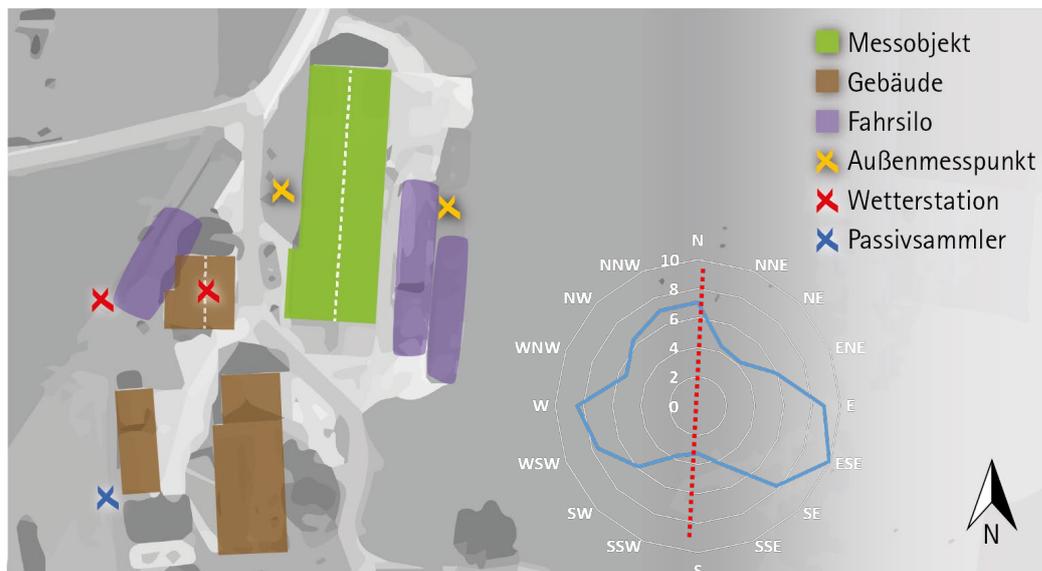


Abbildung 1: Luftbildkarte Standort Spalte 4 (Luftbild: © Google, verändert). Die Windrose zeigt die prozentuale Häufigkeit der Windrichtungen (Messwerte am Standort); die rote Linie zeigt die Ausrichtung der Firstachse des Stallgebäudes. (© KTBL)



Abbildung 2: Innenansicht Stall am Standort Spalte 4 (© KTBL)

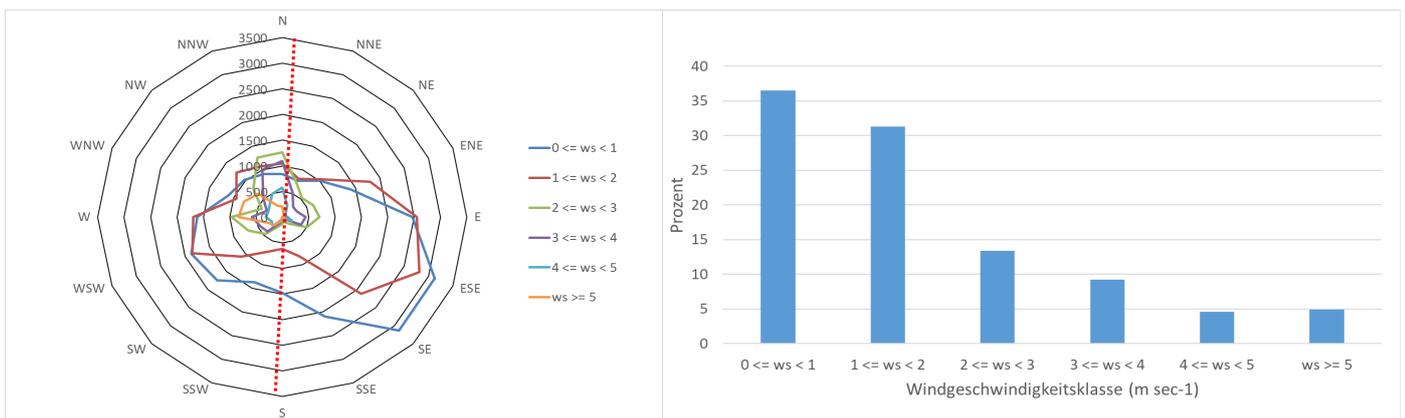


Abbildung 3: Häufigkeit (n) der Windgeschwindigkeitsklasse (außen, in m s⁻¹) nach Windrichtung (°) am Standort Spalte 4 (© KTBL)

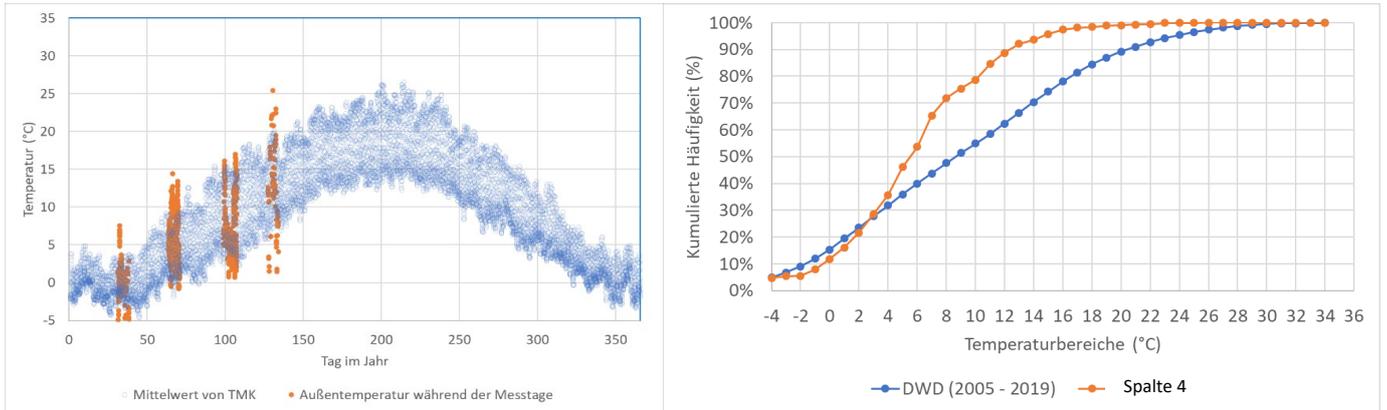


Abbildung 4: Links: Stundenmittel der Außentemperaturen zum Zeitpunkt der Messung (orange) und langjährige Tagesmitteltemperaturen (blaue Punkte, TMK = Tagesmittel Klimastation) der nächstgelegenen DWD-Wetterstation. Rechts: kumulierte Häufigkeit (%) der gemessenen Stundenmitteltemperaturen. (© KTBL)

Emissionsraten in den Messwochen

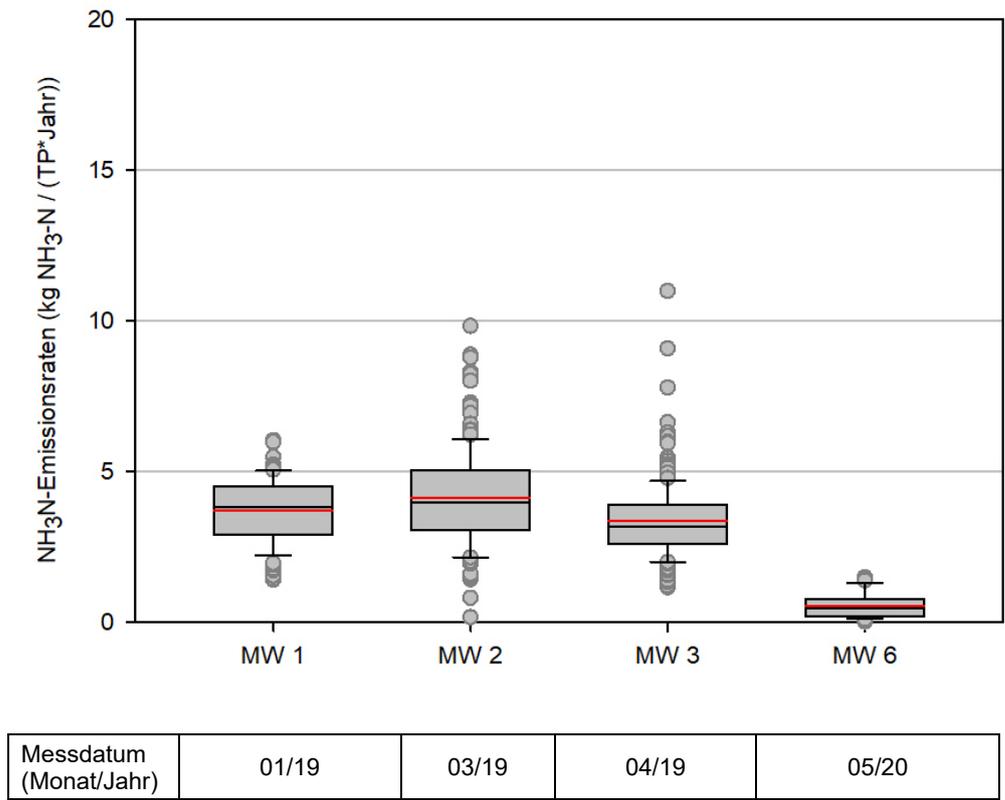


Abbildung. 5: NH₃-N-Emissionsraten (kg NH₃-N Tierplatz⁻¹ Jahr⁻¹) für der vier Messwochen (MW) am Standort Spalte 4. Die roten Linien in den Boxen kennzeichnen die arithmetischen Mittelwerte, die schwarzen Linien die Mediane. Messwochen 4 und 5 konnten nicht ausgewertet werden, da die Tiere sich hier zum Teil außerhalb des Stalles aufhielten. (© KTBL)

Tabelle 2: Kennwerte der Messwochen am Standort Spalte 4, W = Weide

Kennwerte	Einheit	Messwoche (MW)					
		1	2	3	4 W*	5 W*	6
Messdatum	Monat/Jahr	01/19	03/19	04/19	07/19	09/19	05/20
Durchschnittstemperatur MW	°C	-2	5,6	6,6	21,2	10,6	11,7
Anzahl laktierende Tiere	n	70	68	68	71	64	63
Anzahl Trockensteher	n	13	13	11	8	11	11
Mittleres Gewicht laktierender Tiere	kg	765	742	739	746	670	680
Milchleistung pro Tier und Tag	kg	27,5	27,4	27,7	27,0	25,5	27,4
Milchharnstoffgehalt	mg/100 ml	23	23	24	17	22	25
Lauffläche /Tier	m ²	3,5	3,5	3,6	3,6	3,8	3,9
Abstand Gülle von Laufflächenoberfläche	m	0,3	0,4	1,1	0,5	0,6	0,2
Curtains offen	%	0	0	0	100	100	70/100

*Tiere teilweise auf der Weide, teilweise im Stall.

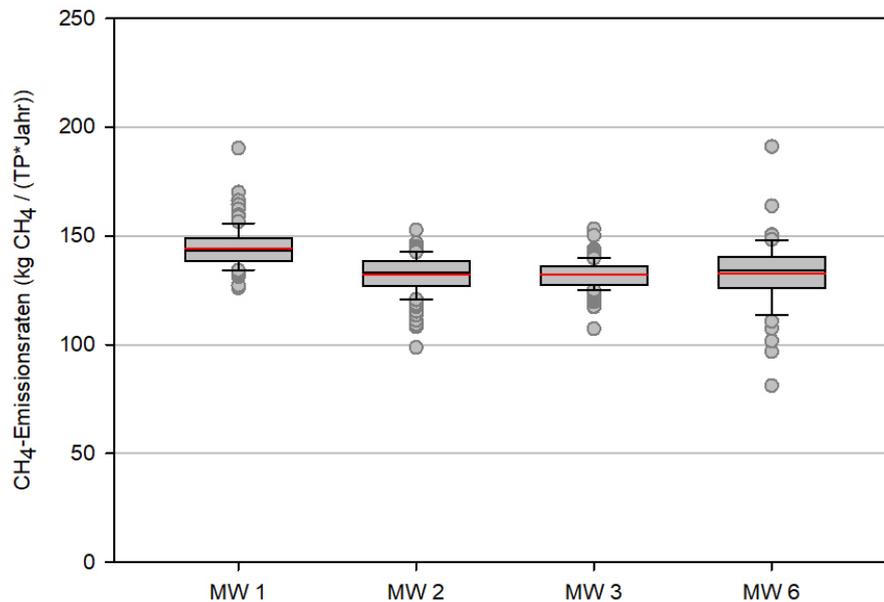


Abbildung 6: CH₄-Emissionsraten (kg CH₄ Tierplatz⁻¹ Jahr⁻¹) für die vier Messwochen (MW) am Standort Spalte 4. Die roten Linien in den Boxen kennzeichnen die arithmetischen Mittelwerte, die schwarzen Linien die Mediane. (© KTBL)

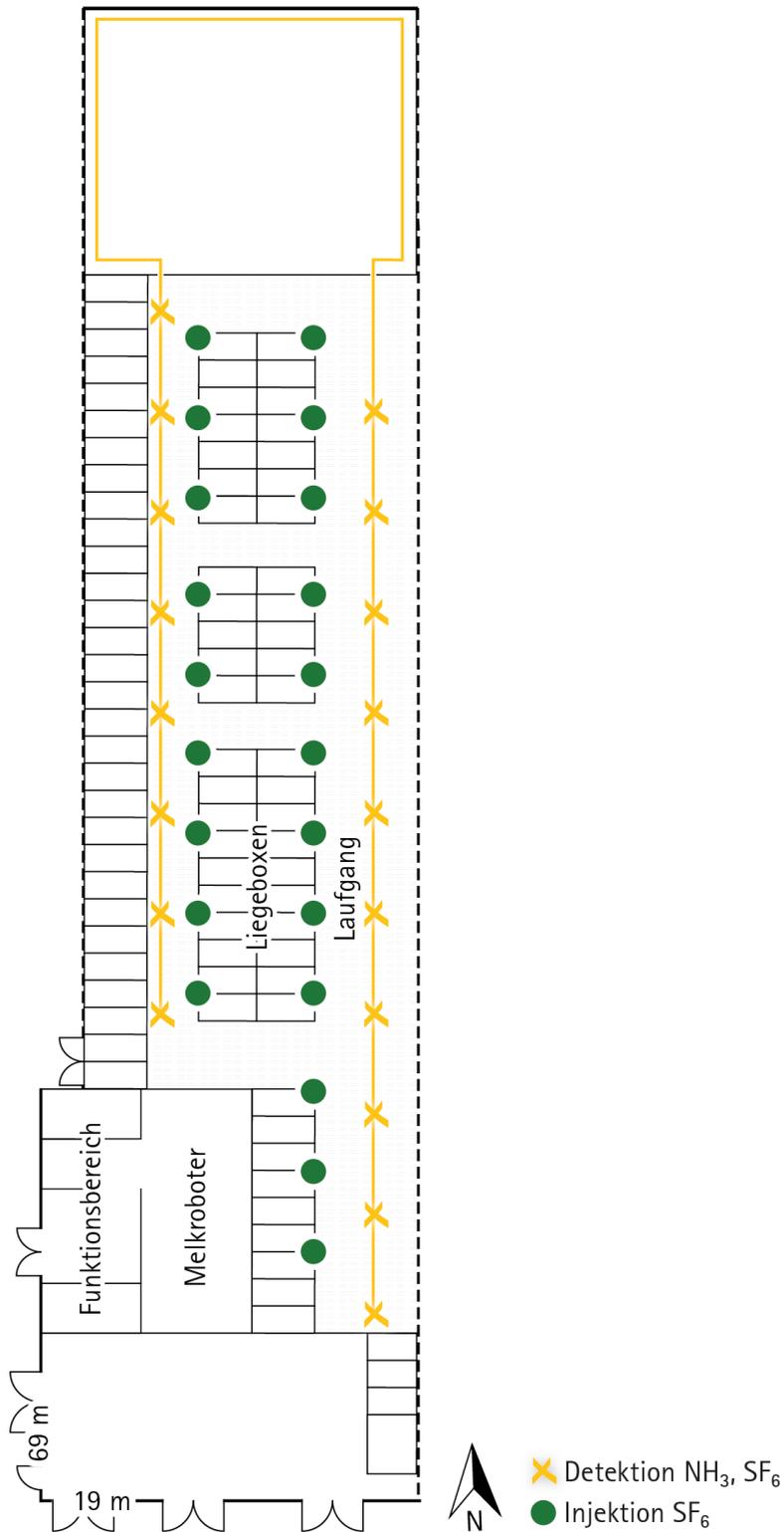


Abbildung 7: Stallansicht Spalte 4 mit schematischer Einzeichnung der Detektionslinie und der Probennahmepunkte (gelb) für NH₃, CH₄ und CO₂ (© KTBL)

Ergebnisse Ammoniak, Methan und weitere Kenndaten der 12 Milchkuhställe ohne Weide in EmiDaT

Type_Report_No	E_NH3N_LU_Y (kg NH ₃ -N GV ⁻¹ Jahr ⁻¹)	E_NH3N_TP_Y (kg NH ₃ -N TP ⁻¹ Jahr ⁻¹)	E_CH4_LU_Y_Mean (kg CH ₄ GV ⁻¹ Jahr ⁻¹)	E_CH4_TP_Y_Mean (kg CH ₄ TP ⁻¹ Jahr ⁻¹)	ENH3N_kg_TANexcr_kg (dimensionslos)	ENH3N_kg_Nexcr_kg (dimensionslos)	OM_T (°C)	LU_500 (Anzahl Betrieb ⁻¹)
Keller_1	6,5	8,8	322	434	0,118	0,066	9,6	180
Keller_2	12,8	17,3	165	222	0,236	0,129	11,2	165
Keller_3	5,6	7,5	200	270	0,107	0,054	9,5	115
Keller_4	5,9	8,0	227	307	0,104	0,058	9,7	177
Plan_1	7,9	10,6	94	126	0,180	0,099	9,9	134
Plan_2	6,9	9,4	94	126	0,158	0,080	10,0	290
Plan_3	6,9	9,3	83	112	0,124	0,070	11,0	173
Plan_4	11,3	15,3	99	134	0,183	0,102	10,1	325
Spalte_1	7,4	10,0	93	126	0,151	0,084	10,1	136
Spalte_2	2,9	3,9	93	125	0,058	0,032	9,2	112
Spalte_3	10,1	13,6	117	157	0,185	0,100	9,6	264
Spalte_4	4,8	6,5	102	138	0,101	0,056	8,6	114
Keller + Plan + Spalte Mittelwert	7,4	10,0	141	190	0,142	0,078	9,9	182

... Fortsetzung Kenndaten der 12 untersuchten Milchkuhställe ohne Weide

Type_Report_No	MILK_YEAR (kg ECM Milch Jahr ⁻¹)	UREA_CONTENT_MILK_MG (mg Urea 100 ml ⁻¹)	WALKING_AREA_PER_ANIMAL_M2 (m ² Tier ⁻¹)	TAN_LU_kg_Y (kg TAN GV ⁻¹ Jahr ⁻¹)	Nexcr_LU_kg_Y (kg N GV ⁻¹ Jahr ⁻¹)
Keller_1	9540	19	4,7	55	99
Keller_2	9022	24	4,8	54	99
Keller_3	9780	26	3,8	52	102
Keller_4	10858	23	5,5	57	101
Plan_1	7559	27	3,9	44	80
Plan_2	9402	29	4,9	44	87
Plan_3	10568	21	4,9	56	100
Plan_4	11052	22	5,4	62	111
Spalte_1	7799	24	3,3	49	87
Spalte_2	8984	23	3,9	50	90
Spalte_3	10033	24	4,1	54	100
Spalte_4	8423	24	3,7	48	86
Keller + Plan + Spalte Mittelwert	9418	24	4,4	52	95

Standort Weide 1

Standortbeschreibung

Tabelle 1: Kurzprofil des Standorts Weide 1

Haltungs- und Entmistungsverfahren	Einheit	Boxenlaufstall mit Güllekeller, Laufgang mit Spaltenboden
Baujahr Stallgebäude		2001
Tierplätze	n	105
Grundfläche	m ²	693
Rasse		Schwarzbunt
Melksystem		Melkstand
Bodenreinigung		Hofschlepper
Reinigungsfrequenz	n	2x / Tag
Tiefe Güllekanäle	m	1,8



Abbildung 1: Luftbildkarte Standort Weide 1 (Luftbild: © Google, verändert). Die Windrose zeigt die prozentuale Häufigkeit der Windrichtungen (Messwerte am Standort); die rote Linie zeigt die Ausrichtung der Firstachse des Stallgebäudes. (© KTBL)



Abbildung 2: Innenansicht Stall am Standort Weide 1 (© KTBL)

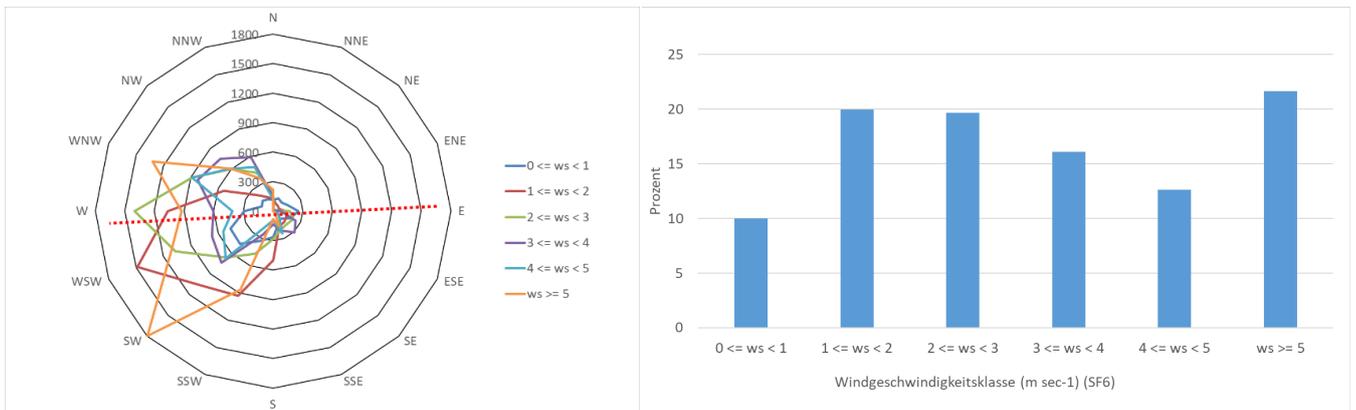


Abbildung 3: Häufigkeit (n) der Windgeschwindigkeitsklasse (außen, in $m\ s^{-1}$) nach Windrichtung ($^{\circ}$) am Standort Weide 1 (© KTBL)

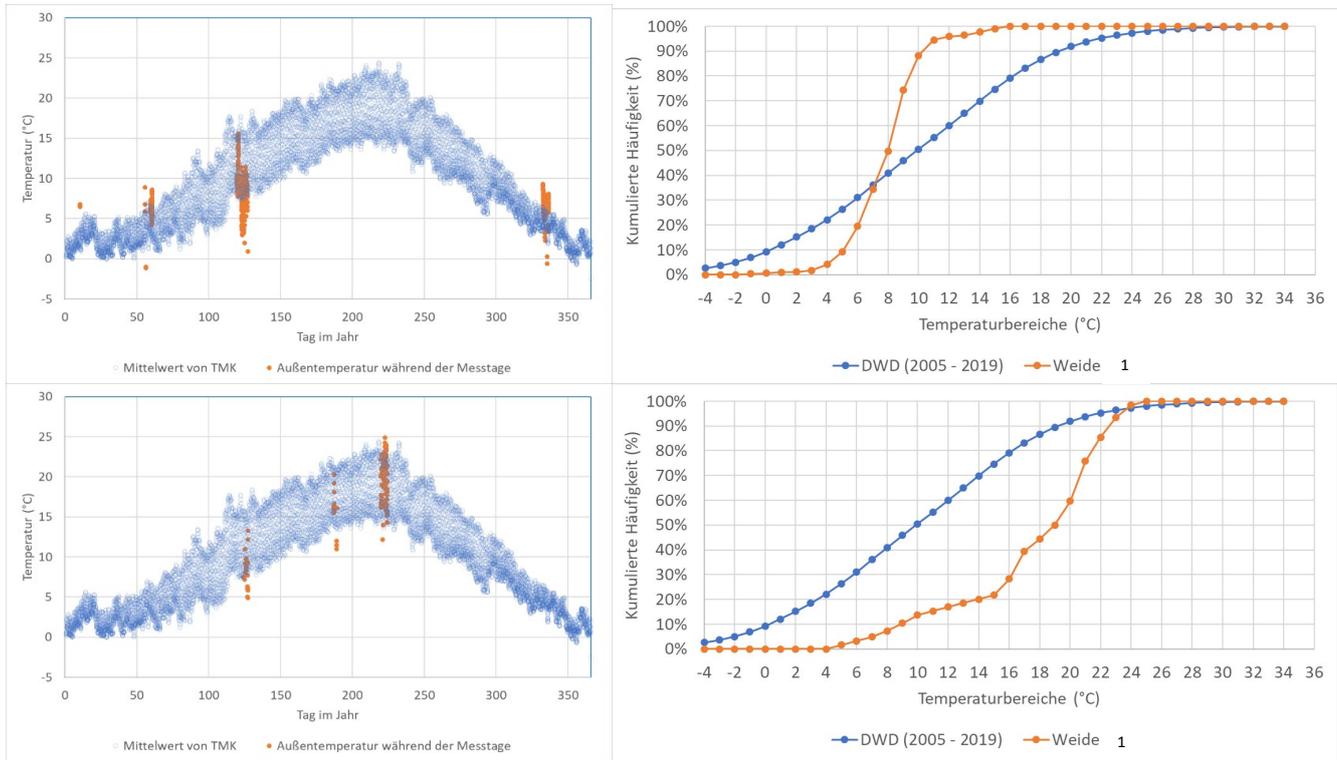
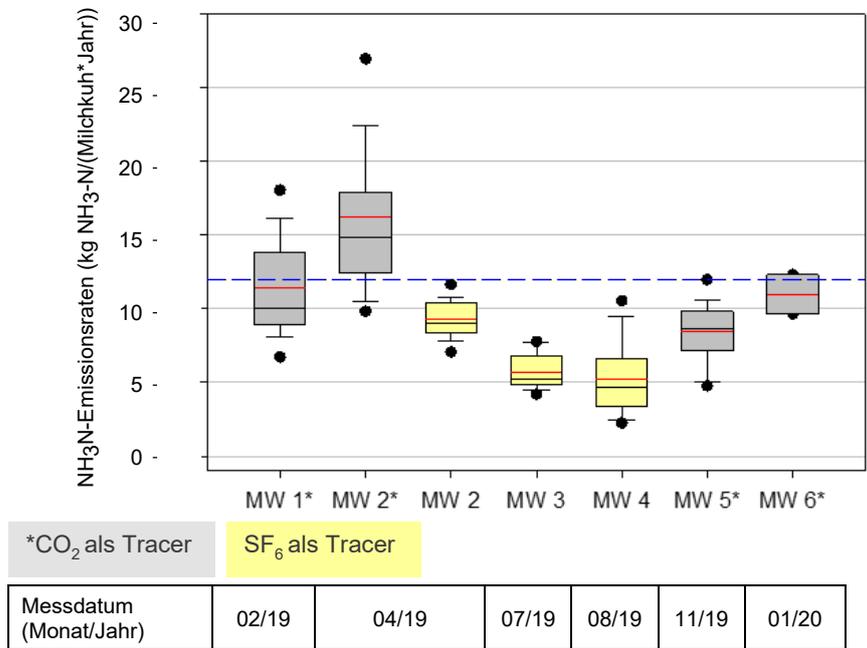


Abbildung 4: Links: Stundenmittel der Außentemperaturen (°C) zum Zeitpunkt der Messung am Standort Weide 3 (orange Punkte) und der nächstgelegenen DWD-Wetterstation (blaue Punkte; Zeitraum der DWD Daten: 2005-2019, TMK = Tagesmittel Klimastation). Rechts: Kumulierte Häufigkeit (%) der gemessenen Stundenmitteltemperaturen. Die oberen Abbildungen zeigen die Messwochen mit CO₂ als Tracer-Gas, die unteren Abbildungen die Messwochen mit SF₆ als Tracergas. (© KTBL)

Emissionsraten in den Messwochen



*Messwochen mit CO₂ als Tracergas.

Abbildung 5: NH₃-N-Emissionsraten (kg NH₃-N Milchkuh⁻¹ Jahr⁻¹) für die sechs Messwochen (MW) am Standort Weide 1. Die rote Linie in der Box kennzeichnet den arithmetischen Mittelwert, die schwarze Linie den Median. MW 3 und 4: Tiere zeitweise außerhalb des Stalls, MW 1, 2, 5, 6: alle Tiere im Stallgebäude. Bei MW 2 gab es sowohl Messung mit CO₂ als auch mit SF₆. (© KTBL)

Tab. 2: Kennwerte der Messwochen am Standort Weide 1, W = Weide

Kennwerte	Einheit	Messwoche (MW)					
		1	2	3 W*	4 W*	5	6
Messdatum	Monat/Jahr	02/19	04/19	07/19	08/19	11/19	01/20
Durchschnittstemperatur MW	°C	10,2	7,7	14,9	18,8	7,7	7,5
Anzahl laktierende Tiere	n	109	109	109	88	102	105
Anzahl Trockensteher	n	0	0	5	25	14	0
Mittleres Gewicht laktierender Tiere	kg	640	640	640	640	640	640
Milchleistung pro Tier und Tag	kg	39,2	35,5	36,8	35,2	31,2	33,8
Milchharnstoffgehalt	mg/100 ml	20,8	24,2	27	25,9	20,4	23,3
Lauffläche /Tier	m ²	3,6	3,3	3,2	3,2	3,1	3,5
Abstand Gülle von Laufflächenoberfläche	m	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Curtains offen	%	10/20	10/20	10/20	10/20	10/20	10/20

* Tiere zeitweise außerhalb des Stalls dargestellt.

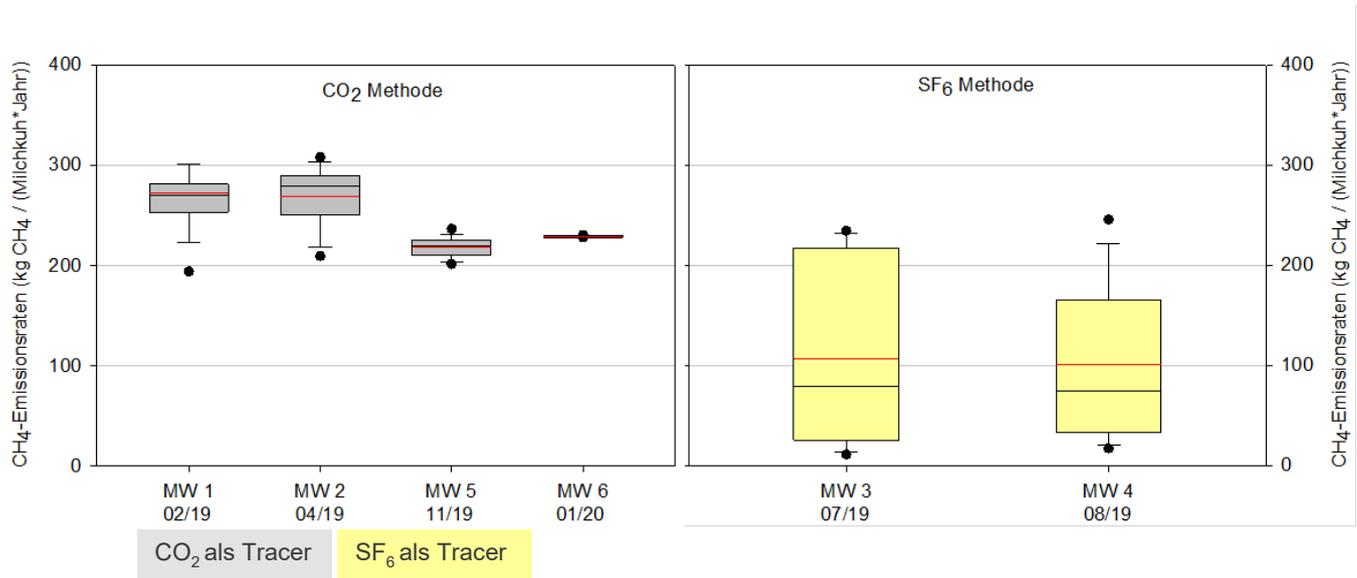


Abbildung 6: CH₄-Emissionsraten (kg CH₄ Milchkuh⁻¹ Jahr⁻¹) für die Messwochen (MW) 1 - 6 am Standort Weide 1. Die rote Linie in der Box kennzeichnet den arithmetischen Mittelwert, die schwarze Linie den Median. MW 1, 2, 5 und 6: Tiere im Stall; MW 3 und 4: Tiere zeitweise außerhalb des Stalles dargestellt. (© KTBL)

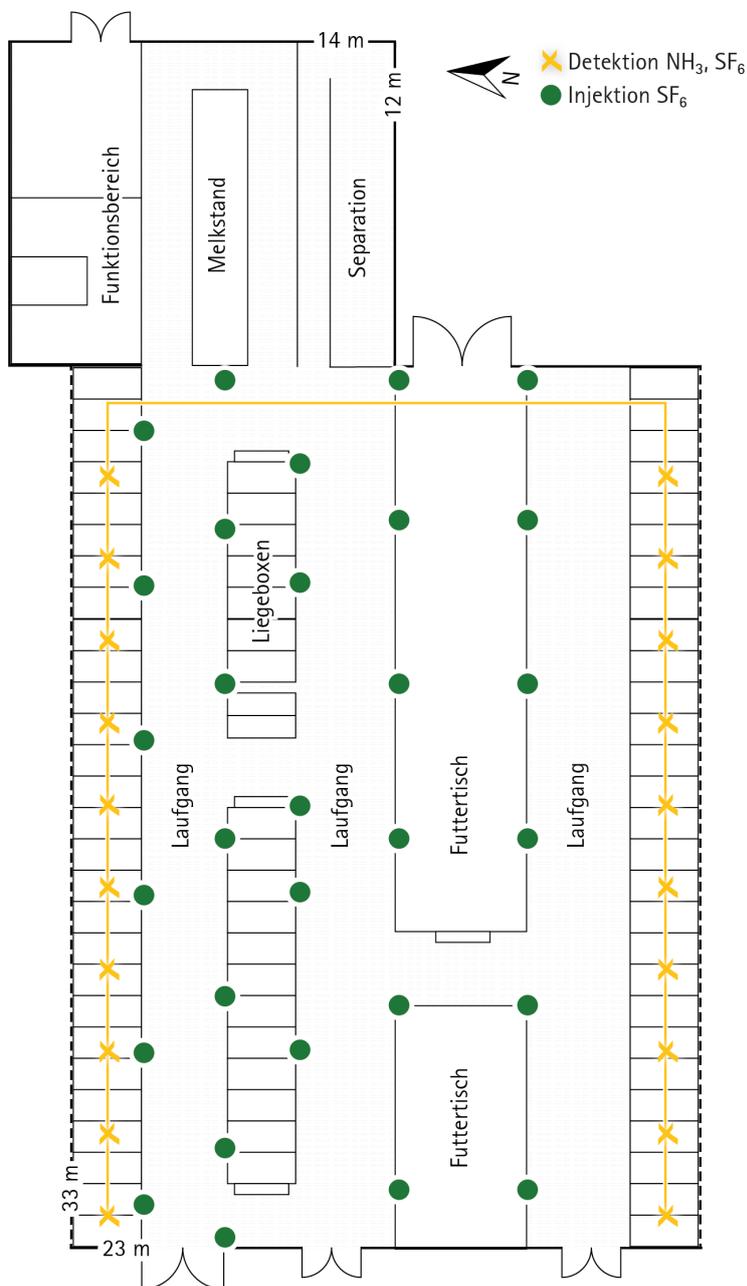


Abbildung 7: Stallansicht Weide 1 mit schematischer Einzeichnung der Detektionslinie und der Probennahmepunkte (gelb) für NH₃, CH₄ und CO₂ (© KTBL)

Standort Weide 2

Standortbeschreibung

Tabelle 1: Kurzprofil des Standorts Weide 2

Haltungs- und Entmistungsverfahren	Einheit	Boxenlaufstall, Laufgang planbefestigt, Querkanal mit Spalten, Weidegang
Baujahr Stallgebäude		1999
Tierplätze	n	120
Grundfläche	m ²	1238
Rasse		Schwarzbunt
Melksystem		Melkstand
Bodenreinigung		Schieber
Reinigungsfrequenz	n	12x / Tag

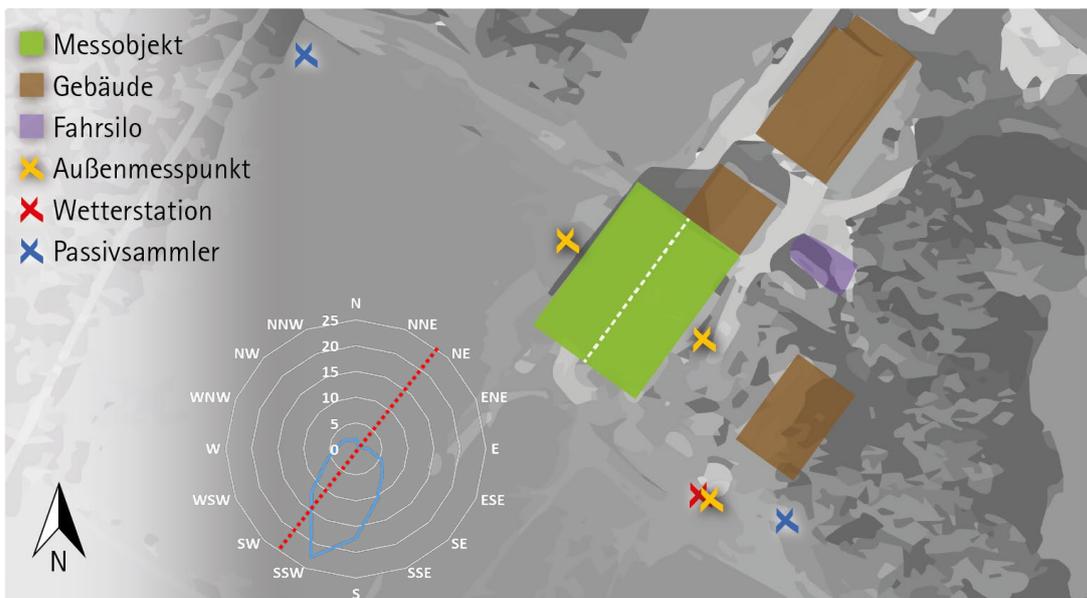


Abbildung 1: Luftbildkarte Standort Weide 2 (Luftbild: © Google, verändert). Die Windrose zeigt die prozentuale Häufigkeit der Windrichtungen (Messwerte am Standort); die rote Linie zeigt die Ausrichtung der Firstachse des Stallgebäudes. (© KTBL)



Abbildung 2: Innenansicht Stall am Standort Weide 2 (© KTBL)

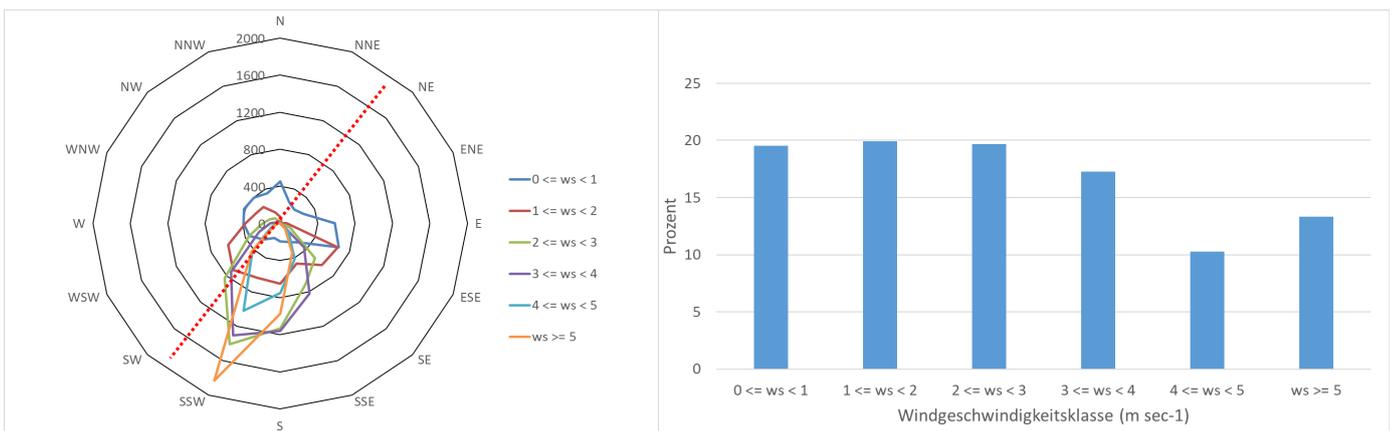


Abbildung 3: Häufigkeit (n) der Windgeschwindigkeitsklasse (außen, in $m s^{-1}$) nach Windrichtung (°) am Standort Weide 2 (© KTBL)

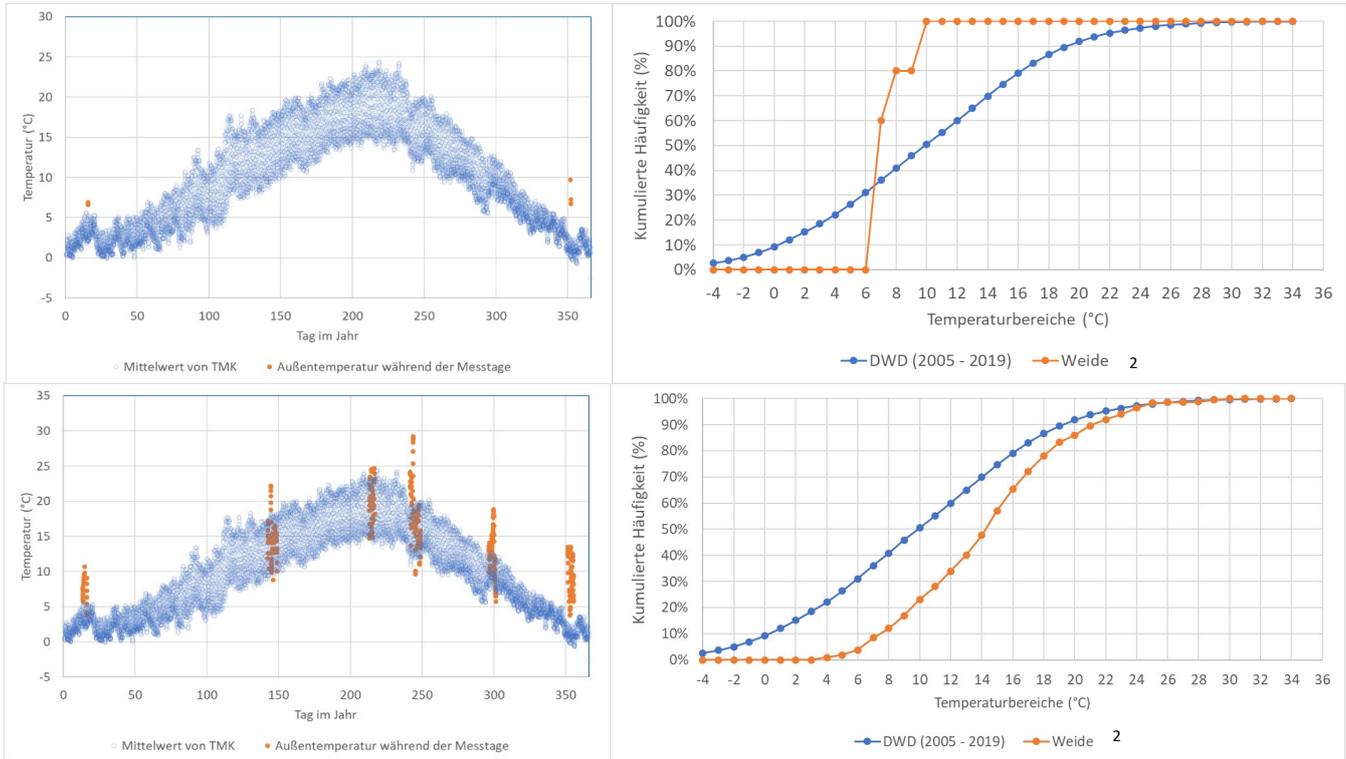
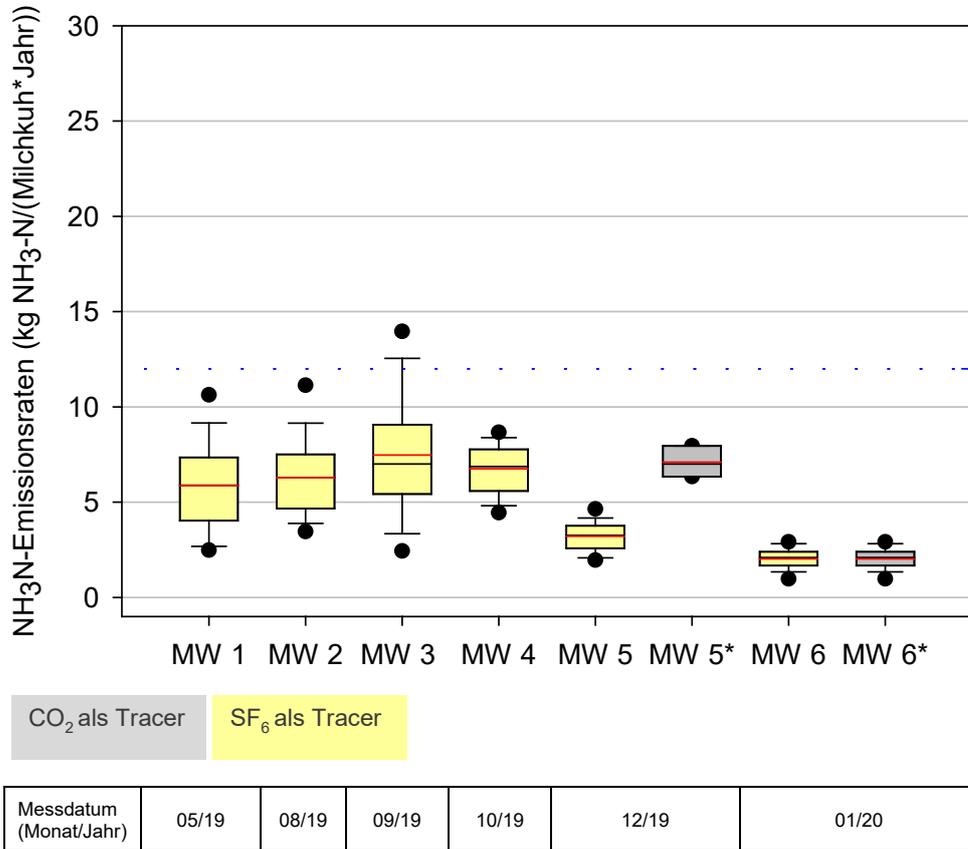


Abbildung 4: Links: Stundenmittel der Außentemperaturen (°C) zum Zeitpunkt der Messung am Standort Weide 2 (orange Punkte) und der nächstgelegenen DWD-Wetterstation (blaue Punkte; Zeitraum der DWD Daten: 2005–2019, TMK = Tagesmittel Klimastation). Rechts: Kumulierte Häufigkeit (%) der gemessenen Stundenmitteltemperaturen. Die oberen Abbildungen zeigen die Messwochen mit CO₂ als Tracer-Gas, die unteren Abbildungen die Messwochen mit SF₆ als Tracergas. (© KTBL)

Emissionsraten in den Messwochen



*Messwochen mit CO₂ als Tracergas.

Abbildung 5: NH₃-N-Emissionsraten (kg NH₃-N Milchkuh⁻¹ Jahr⁻¹) für die sechs Messwochen (MW) am Standort Weide 2. Die rote Linie in der Box kennzeichnet den arithmetischen Mittelwert, die schwarze Linie den Median. Messwochen 5 und 6 Tiere komplett im Stall. Bei MW 5 und 6 gab es sowohl Messung mit CO₂ als auch mit SF₆. (© KTBL)

Tabelle 2: Kennwerte der Messwochen am Standort Weide 2, W = Weide

Kennwerte	Einheit	Messwoche (MW)					
		1 W	2 W	3 W	4 W	5	6
Messdatum	Monat/Jahr	05/19	08/19	09/19	10/19	12/19	01/20
Durchschnittstemperatur MW	°C	13,2	18,6	16,2	12,8	8,2	6,8
Anzahl laktierende Tiere	n	112	98	120	121	109	116
Anzahl Trockensteher	n	5	34	4	17	20	22
Mittleres Gewicht laktierender Tiere	kg	680	680	680	680	680	680
Milchleistung pro Tier und Tag	kg	20,8	20,8	24,4	20,4	24,9	21,6
Milchharnstoffgehalt	mg/100 ml	12,2	15,9	17,6	9,4	12,2	9
Lauffläche /Tier	m ²	2,59	2,3	2,4	2,2	2,35	2,2
Abstand Gülle von Laufflächenoberfläche	m	-	-	-	-	-	-
Curtains offen	%	100	100	100	80	0	0

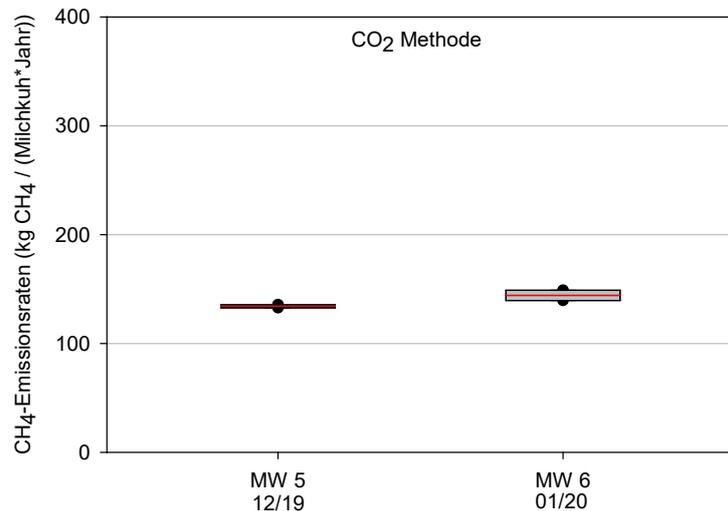


Abbildung 6: CH₄-Emissionsraten (kg CH₄ Milchkuh⁻¹ Jahr⁻¹) für Messwoche (MW) 5 und 6 am Standort Weide 2. Die rote Linie in der Box kennzeichnet den arithmetischen Mittelwert, die schwarze Linie den Median. (© KTBL)

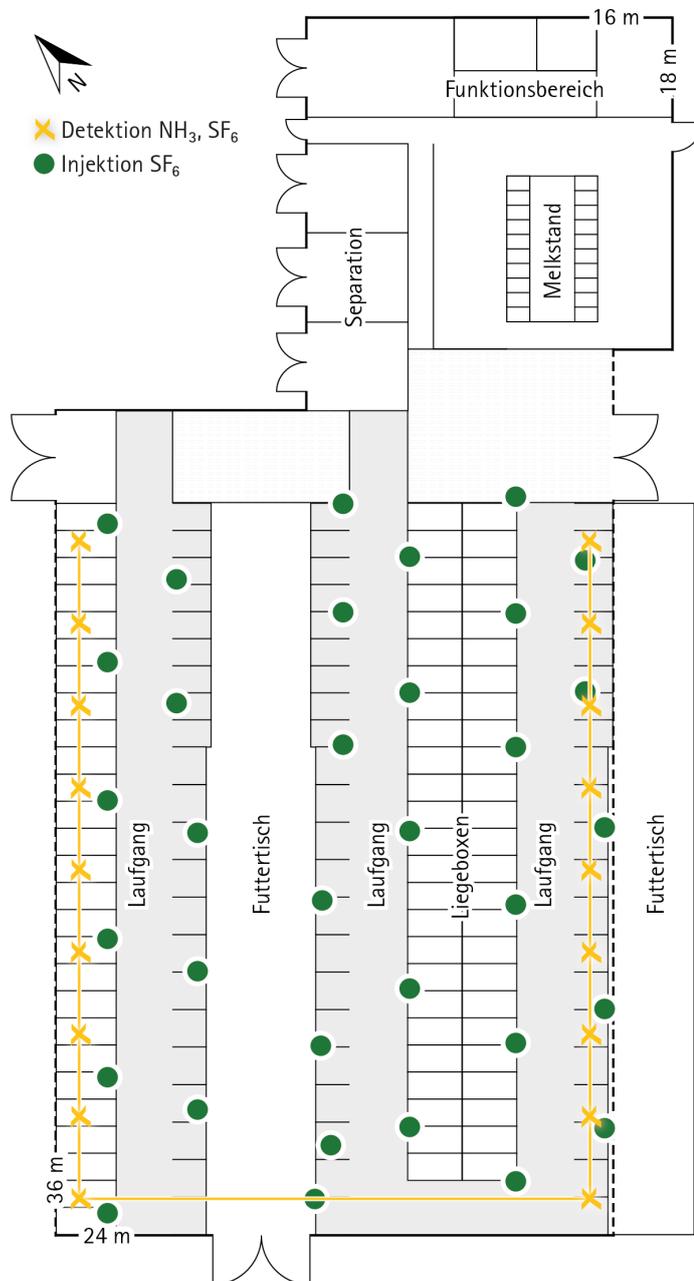


Abbildung 7: Stallansicht Weide 2 mit schematischer Einzeichnung der Detektionslinie und der Probennahmepunkte (gelb) für NH_3 , CH_4 und CO_2 (© KTBL)

Standort Weide 3

Standortbeschreibung

Tabelle 1: Kurzprofil des Standorts Weide 3

Haltungs- und Entmistungsverfahren	Einheit	Boxenlaufstall, Laufgang mit Spaltenboden, Weidegang
Baujahr Stallgebäude		2001
Tierplätze	n	82
Grundfläche	m ²	1417
Rasse		Fleckvieh
Melksystem		Roboter
Bodenreinigung		Roboter
Reinigungsfrequenz	n	12x / Tag
Tiefe Güllekanäle	m	1,25

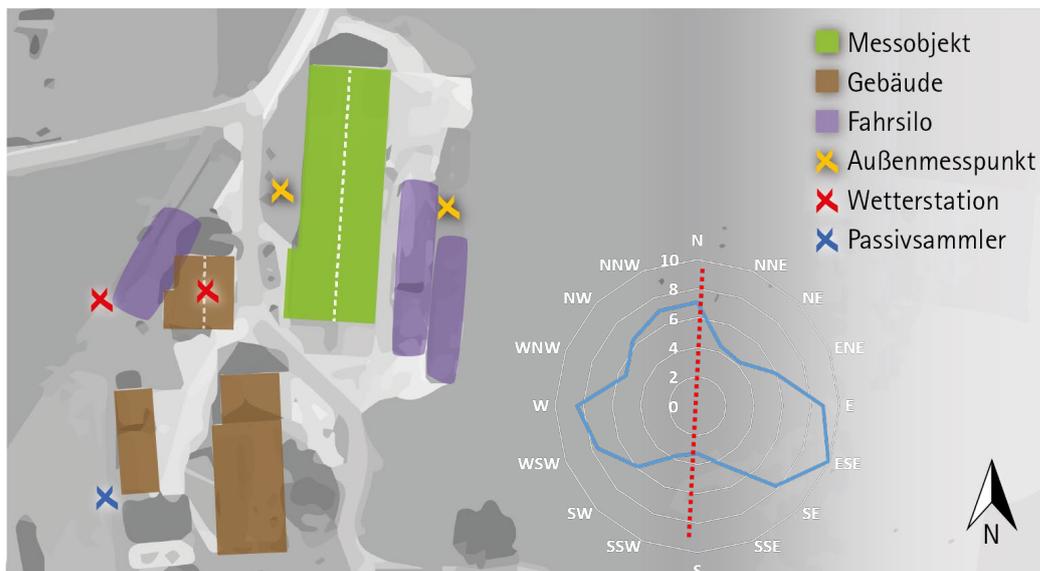


Abbildung 1: Luftbildkarte Standort Weide 3 (Luftbild: © Google, verändert). Die Windrose zeigt die prozentuale Häufigkeit der Windrichtungen (Messwerte am Standort); die rote Linie zeigt die Ausrichtung der Firstachse des Stallgebäudes. (© KTBL)



Abbildung 2: Innenansicht Stall am Standort Weide 3 (© KTBL)

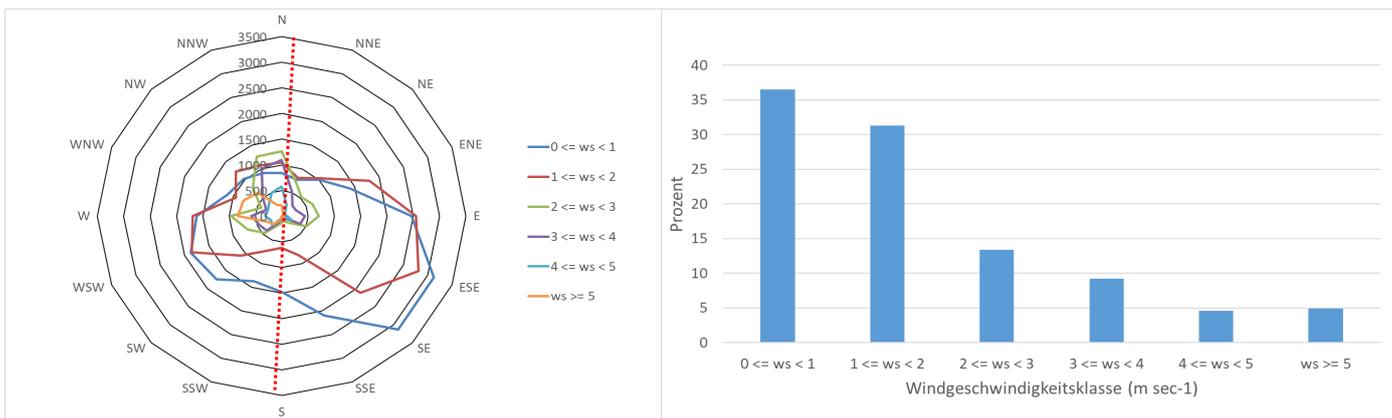


Abbildung 3: Häufigkeit (n) der Windgeschwindigkeitsklasse (außen, in $m s^{-1}$) nach Windrichtung ($^{\circ}$) am Standort Weide 3 (© KTBL)

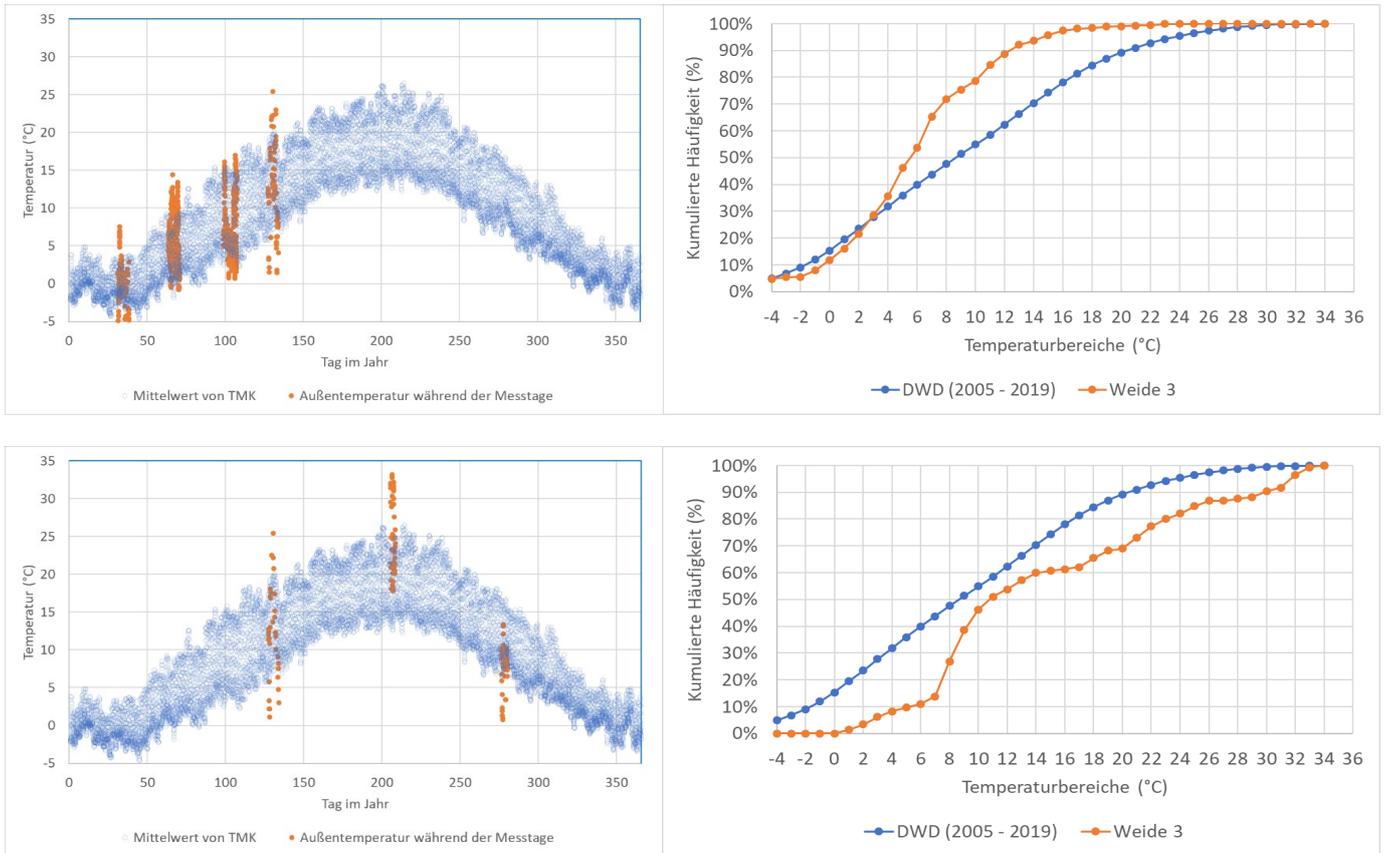
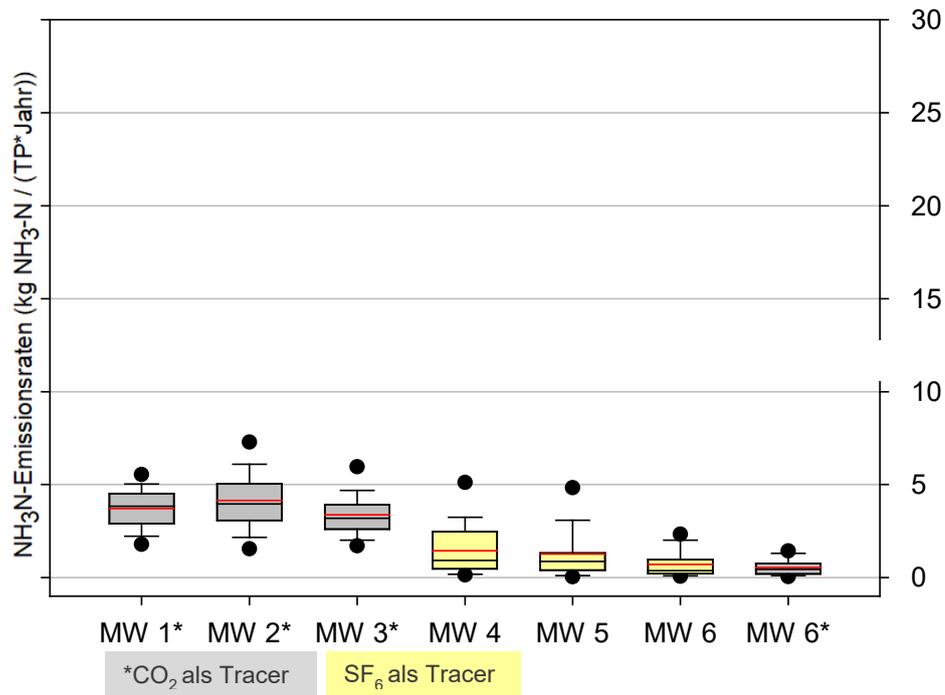


Abbildung 4: Links: Stundenmittel der Außentemperaturen (°C) zum Zeitpunkt der Messung am Standort Weide 3 (orange Punkte) und der nächstgelegenen DWD-Wetterstation (blaue Punkte; Zeitraum der DWD Daten: 2005-2019, TMK = Tagesmittel Klimastation). Rechts: Kumulierte Häufigkeit (%) der gemessenen Stundenmitteltemperaturen. Die oberen Abbildungen zeigen die Messwochen mit CO₂ als Tracer-Gas, die unteren Abbildungen die Messwochen mit SF₆ als Tracergas. (© KTBL)

Emissionsraten in den Messwochen



Messdatum (Monat/Jahr)	01/19	03/19	04/19	07/19	09/19	05/20

*Messwochen mit CO₂ als Tracergas.

Abbildung 5: NH₃-N-Emissionsraten (kg NH₃-N Milchkuh⁻¹ Jahr⁻¹) für die sechs Messwochen (MW) am Standort Weide 3. Die rote Linie in der Box kennzeichnet den arithmetischen Mittelwert, die schwarze Linie den Median. Messwochen 4 und 5 Tiere teilweise außerhalb des Stalls. Bei MW 6 gab es sowohl Messung mit CO₂ als auch mit SF₆ (© KTBL)

Tabelle 2: Kennwerte der Messwochen am Standort Weide 3, W = Weide

Kennwerte	Einheit	Messwoche (MW)					
		1	2	3	4 W*	5 W*	6
Messdatum	Monat/Jahr	01/19	03/19	04/19	07/19	09/19	05/20
Durchschnittstemperatur MW	°C	-2	5,6	6,6	21,2	10,6	11,7
Anzahl laktierende Tiere	n	70	68	68	71	64	63
Anzahl Trockensteher	n	13	13	11	8	11	11
Mittleres Gewicht laktierender Tiere	kg	765	742	739	746	670	680
Milchleistung pro Tier und Tag	kg	27,5	27,4	27,7	27,0	25,5	27,4
Milchharnstoffgehalt	mg/100 ml	23	23	24	17	22	25
Lauffläche /Tier	m ²	3,5	3,5	3,6	3,6	3,8	3,9
Abstand Gülle von Laufflächenoberfläche	m	0,3	0,4	1,1	0,5	0,6	0,2
Curtains offen	%	0	0	0	100	100	70/100

*Tiere teilweise auf der Weide, teilweise im Stall.

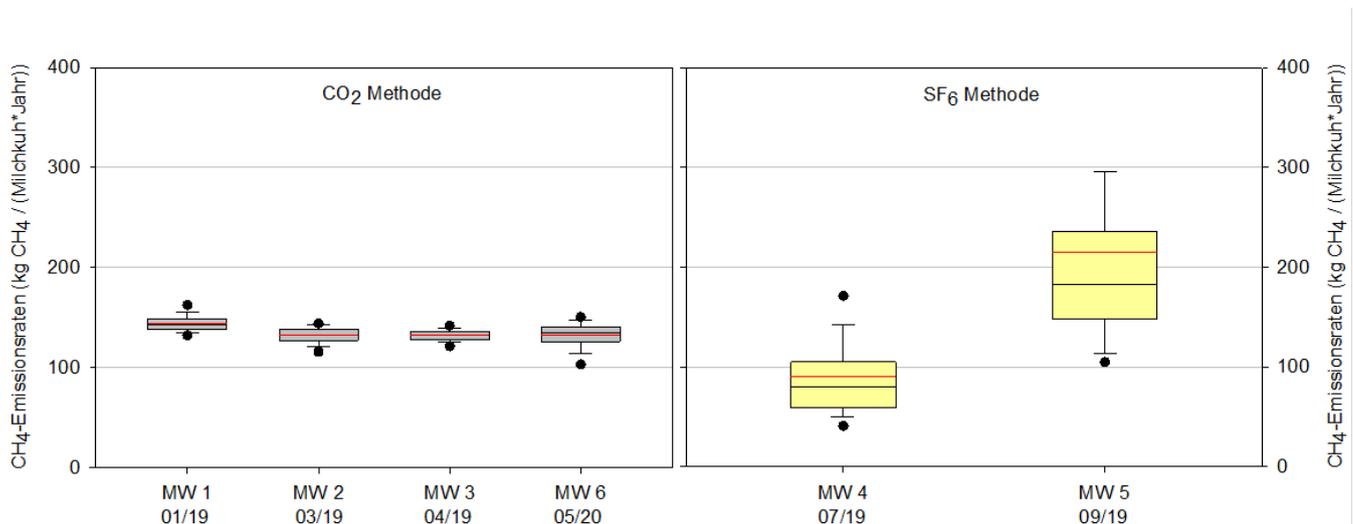


Abbildung 6: CH₄-Emissionsraten (kg CH₄ Milchkuh⁻¹ Jahr⁻¹) für die Messwochen (MW) 1–6 am Standort Weide 3. Die rote Linie in der Box kennzeichnet den arithmetischen Mittelwert, die schwarze Linie den Median. (© KTBL)

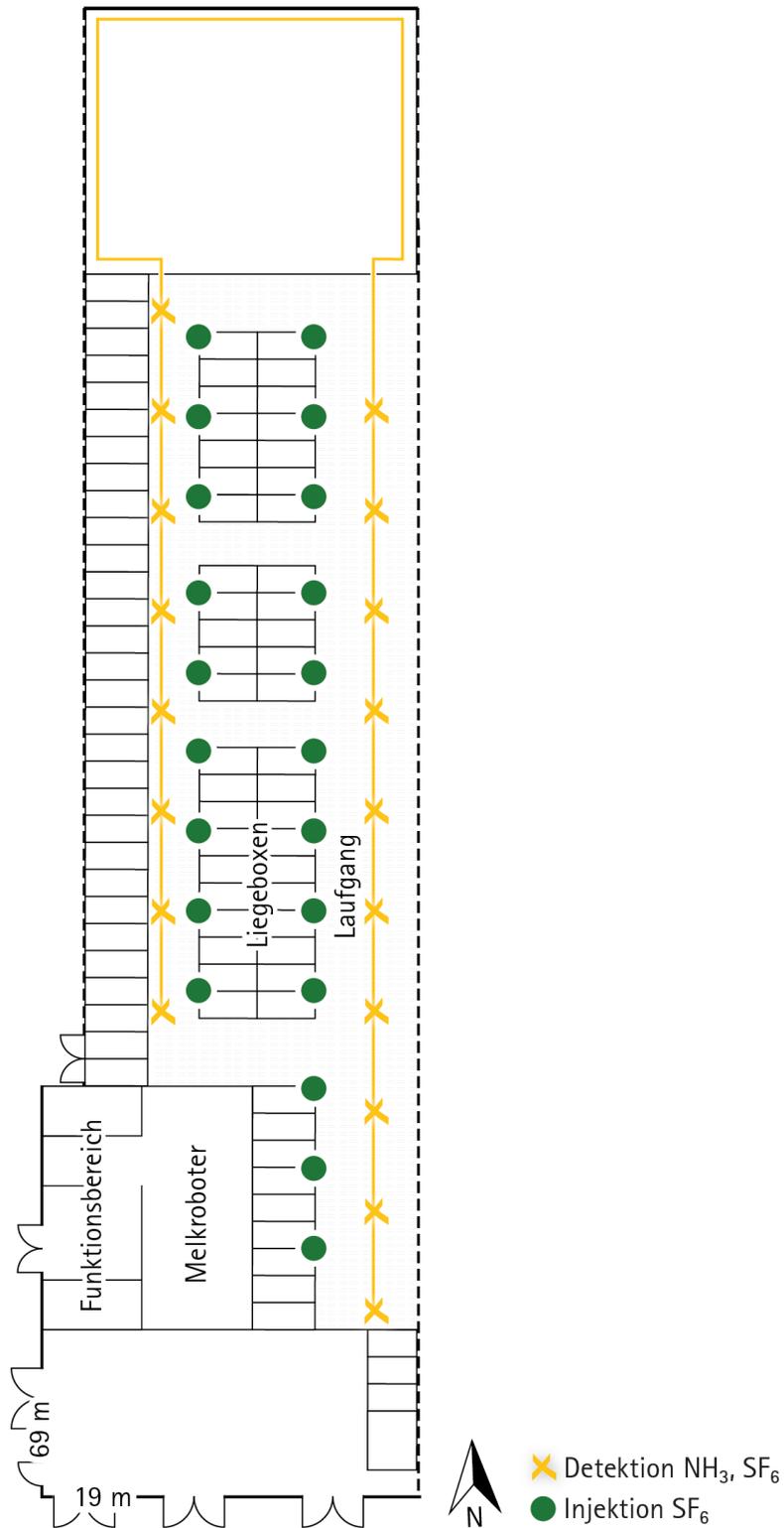


Abbildung 7: Stallansicht Weide 3 mit schematischer Einzeichnung der Detektionslinie und der Probennahmepunkte (gelb) für NH₃, CH₄ und CO₂ (© KTBL)

Anhang 7.2 – Schweinemastbetriebe

Standort Plan 1

Standortbeschreibung

Tabelle 1: Kurzprofil des Standorts Plan 1

Haltungs- und Entmistungsverfahren	Einheit	geschlossener Stall ohne Zwangslüftung mit planbefestigtem Boden und Einstreu im Stall und im Auslauf
Mastverfahren		rein-raus
Belegzeit im Stall	d	345
Baujahr Stallgebäude		Altstall von 2006, Umbau 2015
Tierplätze	n	204
Buchtenanzahl	n	12
Fläche Bucht innen gesamt	m ²	249,1
Fläche Auslauf gesamt	m ²	233,6
Fläche/Tierplatz gesamt	m ²	2,4
Fläche/Tierplatz Auslauf	m ²	1,1
Rasse		Hybrid mit Pietrain
Bodengestaltung Auslauf		planbefestigt mit Einstreu, 50 % eingestreut
Anordnung Auslauf		einseitig
Einstreu Bucht		Stroh
Einstreu Auslauf		Stroh
Bodenreinigung Auslauf		Hofschlepper
Reinigungsfrequenz		3x / Woche (Mo, Mi, Fr)
Überdachung	%	50
Sonnenschutz / Windschutz		nicht vorhanden
Phasenfütterung		einphasig



Abbildung 1: Luftbildkarte Standort Plan 1 (Luftbild: © Google, verändert). Die Windrose zeigt die prozentuale Häufigkeit der Windrichtungen (Messwerte am Standort); die rote Linie zeigt die Ausrichtung der Firstachse des Stallgebäudes. (© KTBL)



Abbildung 2: Ansicht des Stalls Plan 1 von der Auslaufseite (© KTBL)

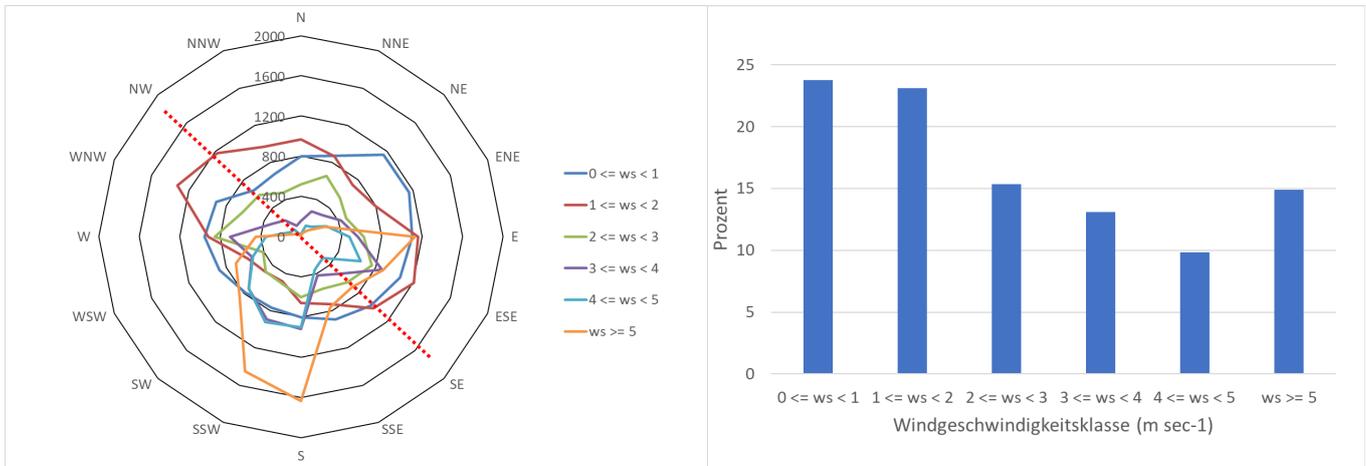


Abbildung 3: Links: Häufigkeit (n) der Windgeschwindigkeitsklasse (außen, $m s^{-1}$) nach Windrichtung am Standort Plan 1. Rechts: Verteilung der Windgeschwindigkeitsklassen ($m s^{-1}$) in Prozent. (© KTBL)

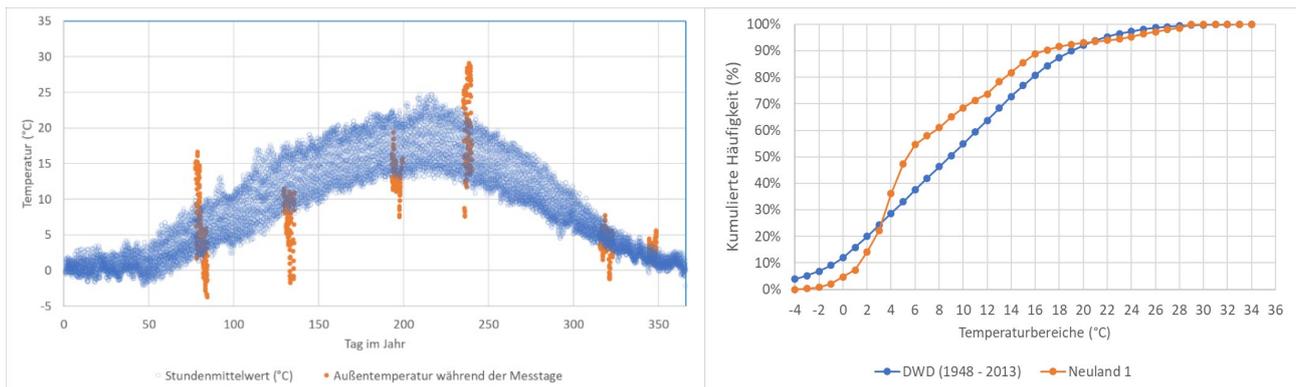


Abbildung 4: Links: Stundenmittel der Außentemperaturen ($^{\circ}C$) zum Zeitpunkt der Messung am Standort Plan 1 (orange Punkte) und der nächstgelegenen DWD-Wetterstation (blaue Punkte; Zeitraum der DWD-Daten: 1948–2013). Rechts: kumulierte Häufigkeit (%) der gemessenen Stundenmitteltemperaturen. (© KTBL)

Emissionsraten in den Messwochen

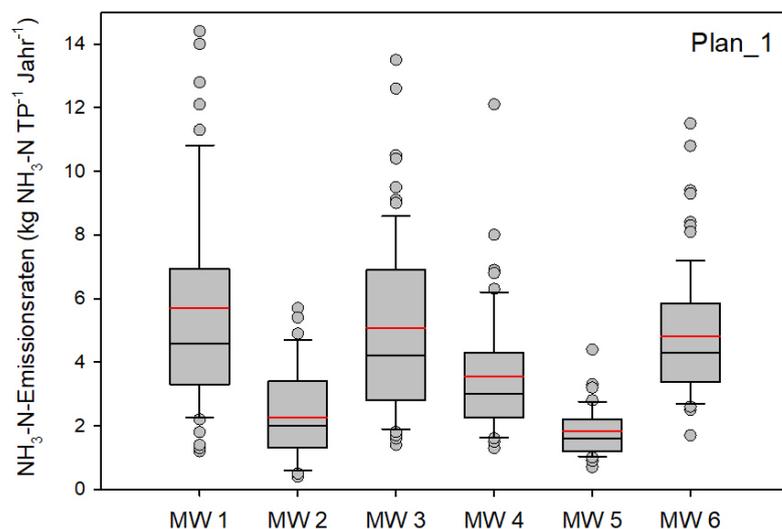


Abbildung 5: NH₃-N-Emissionsraten (kg NH₃-N Tierplatz⁻¹ Jahr⁻¹) für die sechs Messwochen (MW) am Standort Plan 1 (Stundenmittelwerte). Die rote Linie in der Box kennzeichnet den arithmetischen Mittelwert, die schwarze Linie den Median. (© KTBL)

Tabelle 2: Kennwerte der Messwochen (MW) am Standort Plan 1

Kennwerte	Einheit	Messwoche (MW)					
		1	2	3	4	5	6
Messdatum	Monat/Jahr	05/19	07/19	08/19	11/19	12/19	03/20
Durchschnittstemperatur MW	°C	8,1	13,3	18,2	3,7	3,7	5,4
Anzahl Mastschweine	n	137	200	194	203	200	204
Mittleres Gewicht Tiere	kg	100	60	85	55	80	35
Lauffläche Auslauf/Tier	m ²	1,7	1,2	1,2	1,2	1,2	1,1
Einstreu pro Tier und Tag	kg	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

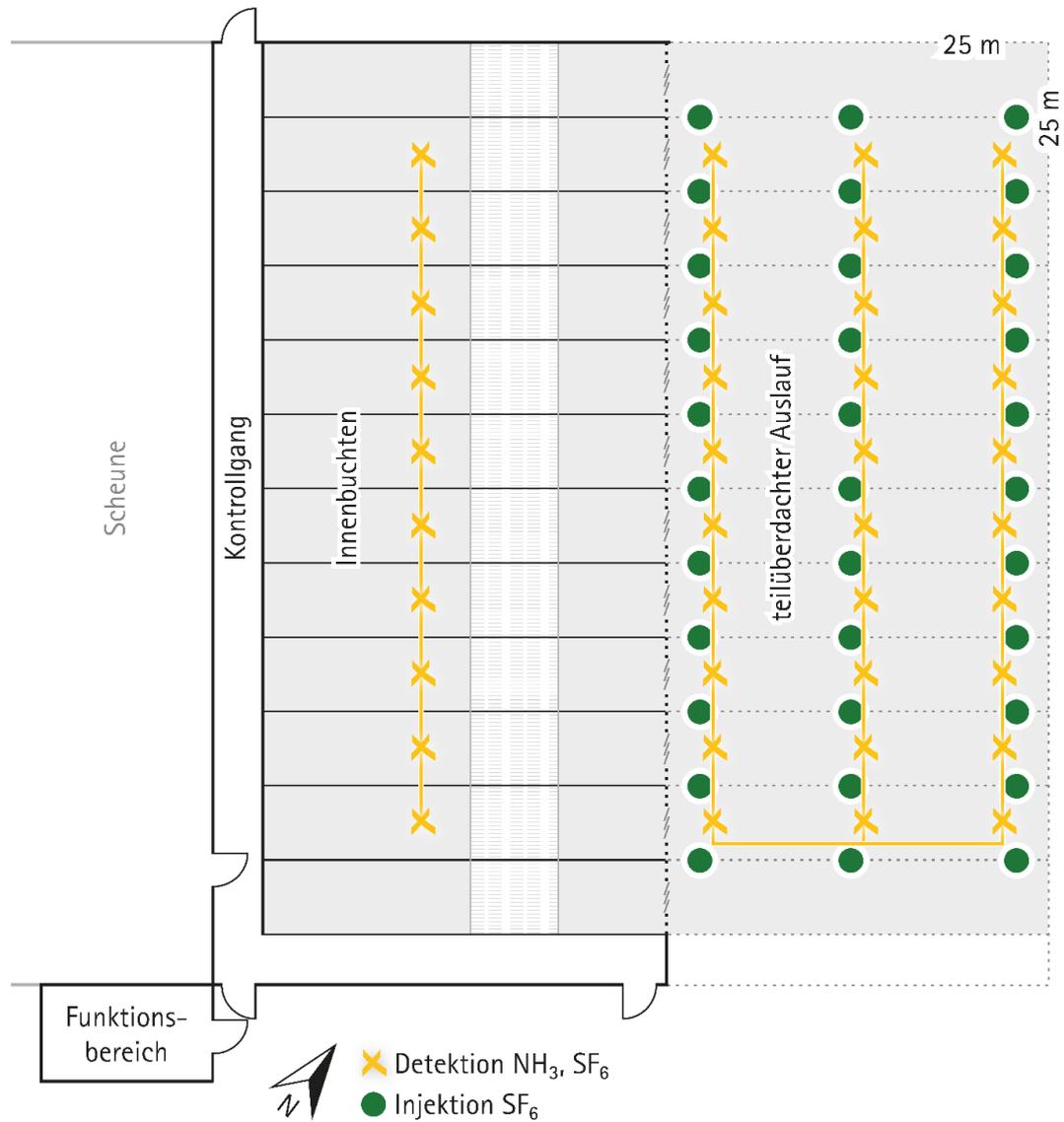


Abbildung 6: Stallansicht und Auslauf Plan 1 mit schematischer Einzeichnung der Injektionsdüsen für SF₆ (grüne Punkte) und der Detektionslinie und der Probennahmepunkte (gelb) für SF₆, NH₃ und CH₄ (© KTBL)

Standort Plan 2

Standortbeschreibung

Tabelle 1: Kurzprofil des Standorts Plan 2

Haltungs- und Entmistungsverfahren	Einheit	geschlossener Stall ohne Zwangslüftung mit planbefestigten Böden und eingestreutem Auslauf; Minimaleinstreu im Stall
Mastverfahren		rein-raus
Belegzeit im Stall (d)	d	345
Baujahr Stallgebäude		2002
Tierplätze	n	120
Buchtenanzahl	n	10
Fläche Bucht innen gesamt	m ²	100,0
Fläche Auslauf gesamt	m ²	90,0
Fläche/Tierplatz gesamt	m ²	1,6
Fläche/Tierplatz Auslauf	m ²	0,8
Rasse		German Hybrid x Pietrain x Duroc
Bodengestaltung Auslauf		planbefestigt mit Einstreu (100% eingestreut)
Anordnung Auslauf		einseitig
Einstreu Bucht		Minimaleinstreu, Beschäftigungsmaterial
Einstreu Auslauf		Stroh
Bodenreinigung Auslauf		Hofschlepper
Reinigungsfrequenz		2x / Woche
Überdachung	%	100
Sonnenschutz / Windschutz		nicht vorhanden
Phasenfütterung		zweiphasig

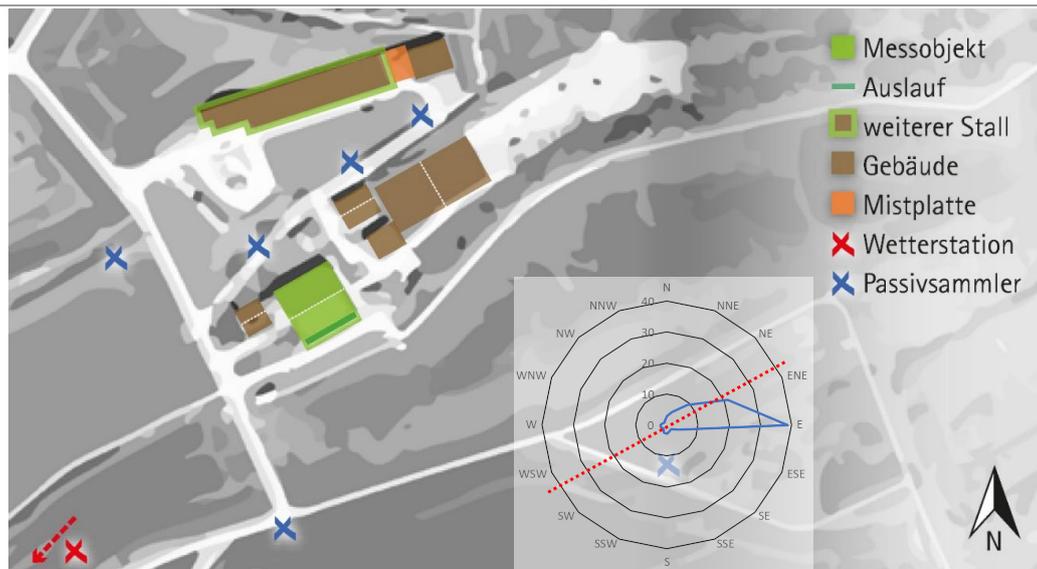


Abbildung 1: Luftbildkarte Standort Plan 2 (Luftbild: © Google, verändert). Die Windrose zeigt die prozentuale Häufigkeit der Windrichtungen (Messwerte am Standort); die rote Linie zeigt die Ausrichtung der Firstachse des Stallgebäudes. (© KTBL)



Abbildung 2: Ansicht des Stalls Plan 2 von der Auslaufseite und im Stall (© KTBL)

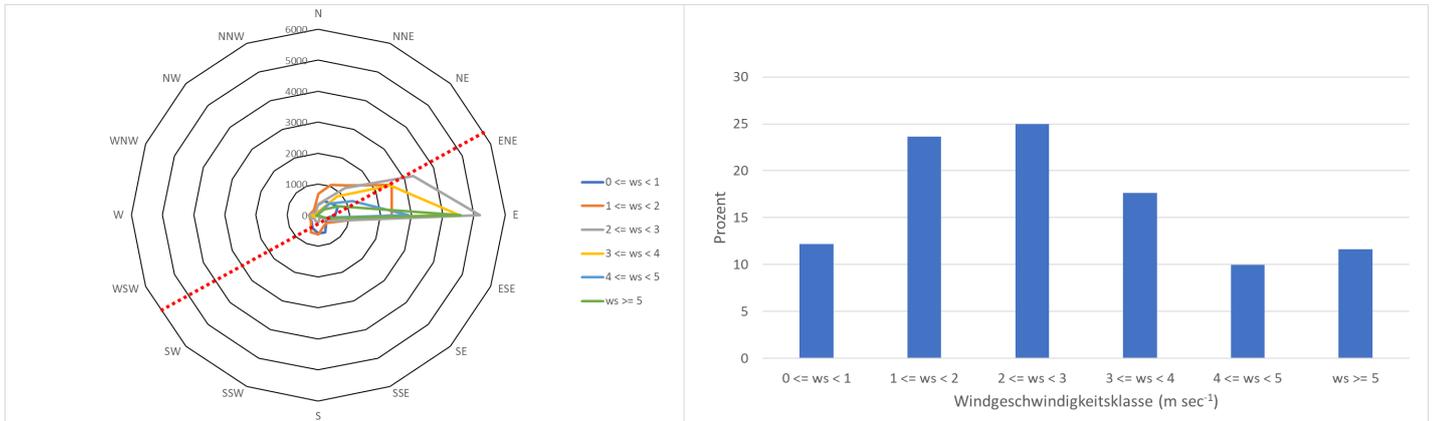


Abbildung 3: Links: Häufigkeit (n) der Windgeschwindigkeitsklasse (außen, $m s^{-1}$) nach Windrichtung am Standort Plan 2. Rechts: Verteilung der Windgeschwindigkeitsklassen ($m s^{-1}$) in Prozent. (© KTBL)

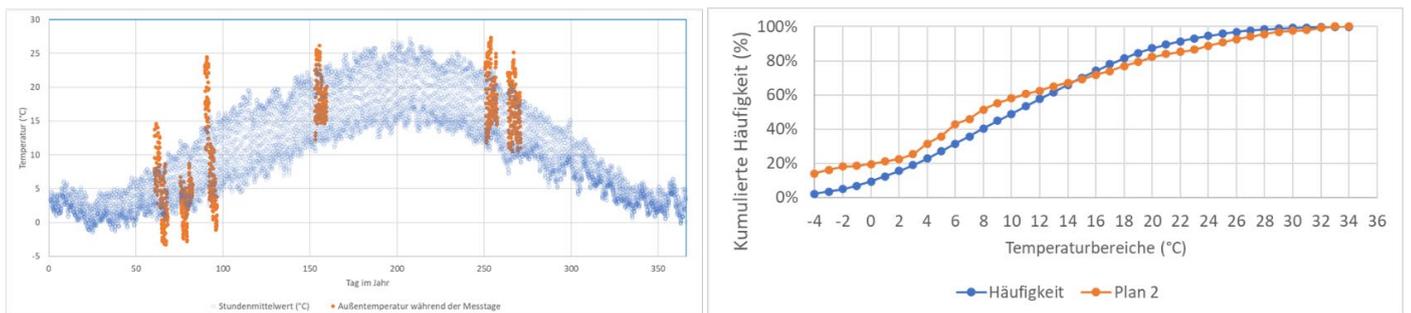


Abbildung 4: Links: Stundenmittel der Außentemperaturen (°C) zum Zeitpunkt der Messung am Standort Plan 2 (orange Punkte) und der nächstgelegenen DWD-Wetterstation (blaue Punkte; Zeitraum der DWD-Daten: 1948–2013). Rechts: kumulierte Häufigkeit (%) der gemessenen Stundenmitteltemperaturen. (© KTBL)

Emissionsraten in den Messwochen

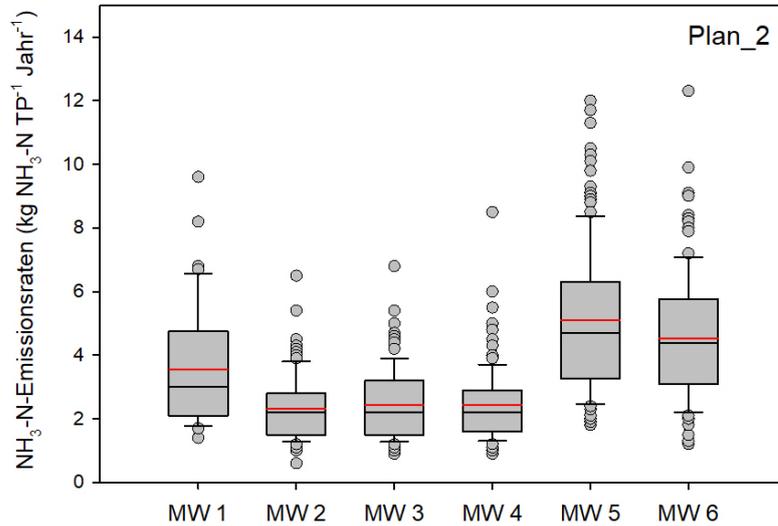


Abbildung 5: $\text{NH}_3\text{-N}$ -Emissionsraten ($\text{kg NH}_3\text{-N Tierplatz}^{-1} \text{Jahr}^{-1}$) für die sechs Messwochen (MW) am Standort Plan 1 (Stundenmittelwerte). Die rote Linie in der Box kennzeichnet den arithmetischen Mittelwert, die schwarze Linie den Median. (© KTBL)

Tabelle 2: Kennwerte der Messwochen (MW) am Standort Plan 2

Kennwerte	Einheit	Messwoche (MW)					
		1	2	3	4	5	6
Messdatum	Monat/Jahr	03/21	03/21	04/21	06/21	09/21	09/21
Durchschnittstemperatur MW	°C	4,6	2,9	9,5	18,5	18,9	16,6
Anzahl Mastschweine	n	65	120	112	120	118	119
Mittleres Gewicht Tiere	kg	35	40	45	60	40	70
Lauffläche Auslauf/Tier	m ²	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Einstreu pro Tier und Tag	kg	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7

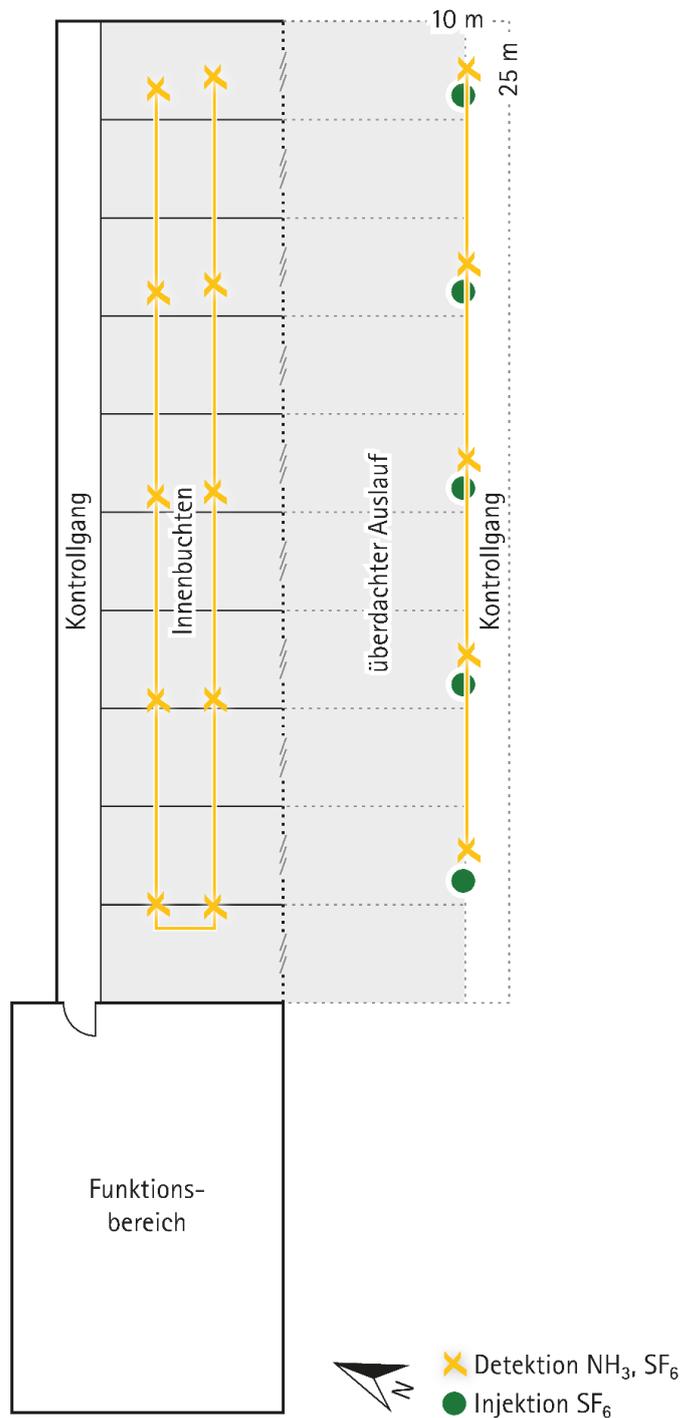


Abbildung 6: Stallansicht und Auslauf Plan 2 mit schematischer Einzeichnung der Injektionsdüsen für SF₆ (grüne Punkte) und der Detektionslinie und der Probenahme Punkte (gelb) für SF₆, NH₃ und CH₄ (© KTBL)

Standort Plan 3

Standortbeschreibung

Tabelle 1: Kurzprofil des Standorts Plan 3

Haltungs- und Entmistungsverfahren	Einheit	geschlossener Stall ohne Zwangslüftung mit planbefestigten Böden und eingestreutem Auslauf; Minimaleinstreu im Stall
Mastverfahren		kontinuierlich
Belegzeit im Stall	d	365
Baujahr Stallgebäude		2016
Tierplätze	n	200
Buchtenanzahl	n	9
Fläche Bucht innen gesamt	m ²	128,0
Fläche Auslauf gesamt	m ²	85,9
Fläche/Tierplatz gesamt	m ²	1,1
Fläche/Tierplatz Auslauf	m ²	0,4
Rasse		Hybrid mit Pietrain
Bodengestaltung Auslauf		planbefestigt mit Einstreu (100% eingestreu)
Anordnung Auslauf		einseitig
Einstreu Bucht		Minimaleinstreu
Einstreu Auslauf		Stroh
Bodenreinigung Auslauf		Hofschlepper
Reinigungsfrequenz		2x / Woche (Di, Fr)
Überdachung	%	100
Sonnenschutz / Windschutz		Jalousie
Phasenfütterung		einphasig

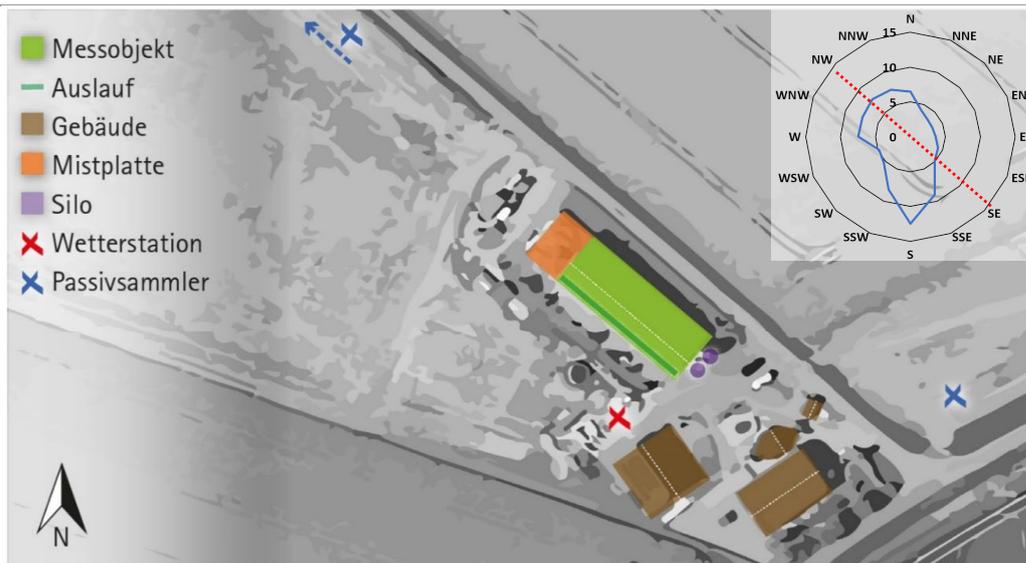


Abbildung 1: Luftbildkarte Standort Plan 3 (Luftbild: © Google, verändert). Die Windrose zeigt die prozentuale Häufigkeit der Windrichtungen (Messwerte am Standort); die rote Linie zeigt die Ausrichtung der Firstachse des Stallgebäudes. (© KTBL)



Abbildung 2: Ansicht des Stalls Plan 3 von der Auslaufseite (© KTBL)

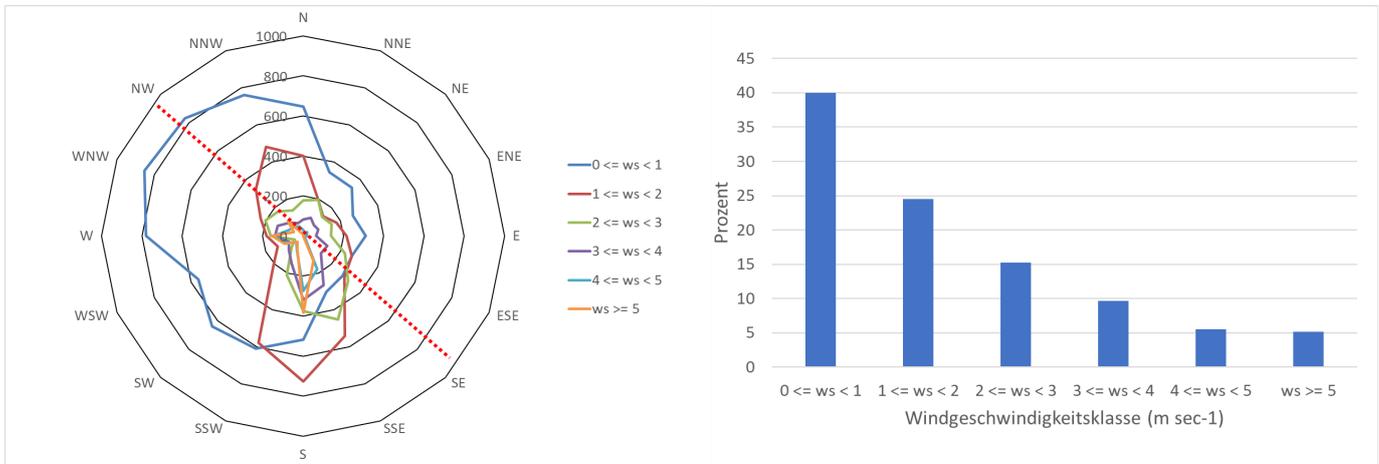


Abbildung 3: Links: Häufigkeit (n) der Windgeschwindigkeitsklasse (außen, $m s^{-1}$) nach Windrichtung am Standort Plan 3. Rechts: Verteilung der Windgeschwindigkeitsklassen ($m s^{-1}$) in Prozent. (© KTBL)

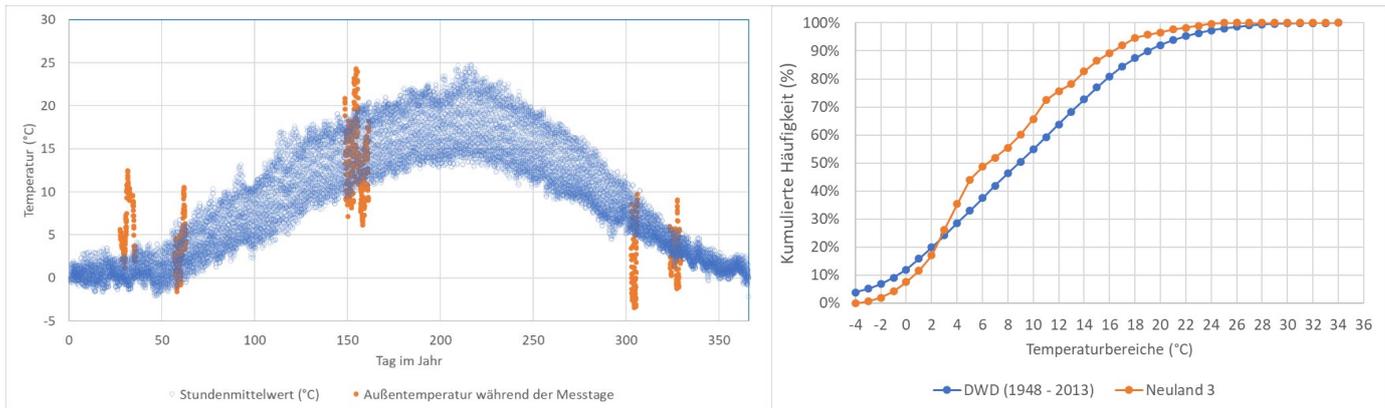


Abbildung 4: Links: Stundenmittel der Außentemperaturen ($^{\circ}C$) zum Zeitpunkt der Messung am Standort Plan 3 (orange Punkte) und der nächstgelegenen DWD-Wetterstation (blaue Punkte; Zeitraum der DWD-Daten: 1948–2013). Rechts: kumulierte Häufigkeit (%) der gemessenen Stundenmitteltemperaturen. (© KTBL)

Emissionsraten in den Messwochen

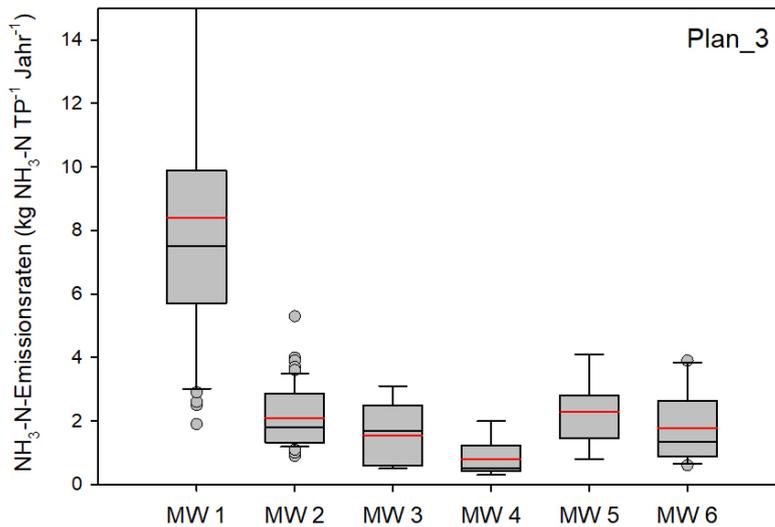


Abbildung 5: NH₃-N-Emissionsraten (kg NH₃-N Tierplatz⁻¹ Jahr⁻¹) für die sechs Messwochen (MW) am Standort Plan 3 (Stundenmittelwerte). Die rote Linie in der Box kennzeichnet den arithmetischen Mittelwert, die schwarze Linie den Median. (© KTBL)

Tabelle 2: Kennwerte der Messwochen (MW) am Standort Plan 3

Kennwerte	Einheit	Messwoche (MW)					
		1	2	3	4	5	6
Messdatum	Monat/Jahr	10/19	11/19	01/20	02/20	05/20	06/20
Durchschnittstemperatur MW	°C	4,5	3,0	6,2	3,5	12,7	12,5
Anzahl Mastschweine	n	183	184	189	186	176	177
Mittleres Gewicht Tiere	kg	65	93	68	76	78	78
Lauffläche Auslauf/Tier	m ²	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Einstreu pro Tier und Tag	kg	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Öffnung der Außenjalousien	%	0	0	0	0	100	100

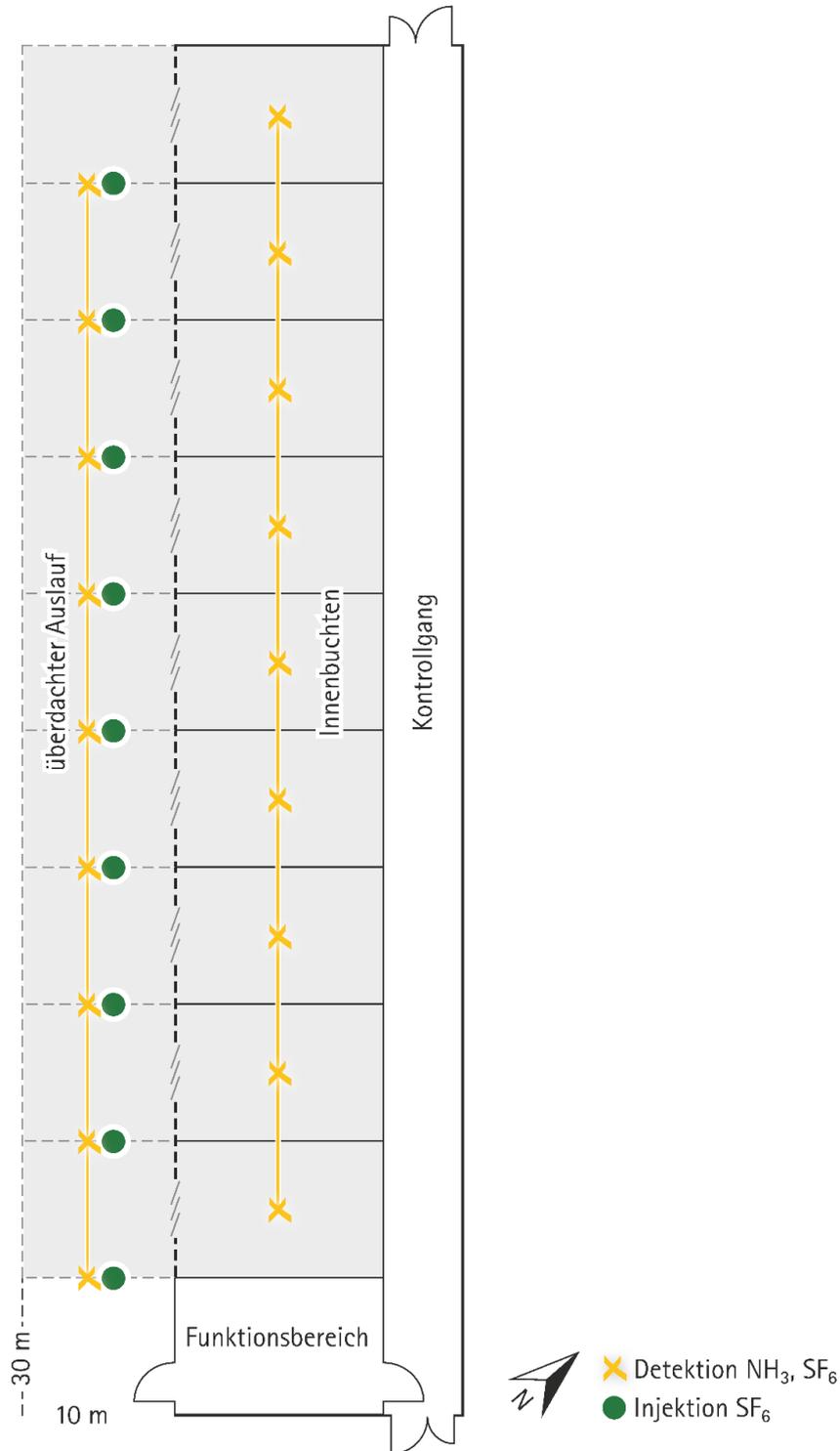


Abbildung 6: Stallansicht und Auslauf Plan 3 mit schematischer Einzeichnung der Injektionsdüsen für SF₆ (grüne Punkte) und der Detektionslinie und der Probenahmepunkte (gelb) für SF₆, NH₃ und CH₄ (© KTBL)

Standort Plan 4

Standortbeschreibung

Tabelle 1: Kurzprofil des Standorts Plan 4

Haltungs- und Entmistungsverfahren	Einheit	geschlossener Stall ohne Zwangslüftung mit planbefestigten Böden und eingestreutem Auslauf; Minimaleinstreu im Stall
Mastverfahren		kontinuierlich
Belegzeit im Stall)	d	365
Baujahr Stallgebäude		2005/2006
Tierplätze	n	600
Buchtenanzahl	n	36
Fläche Bucht innen gesamt	m ²	643,5
Fläche Auslauf gesamt	m ²	380,3
Fläche/Tierplatz gesamt	m ²	1,7
Fläche/Tierplatz Auslauf	m ²	0,6
Rasse		90 % Schweizer Landrasse x Pietrain, 10 % Duroc x Iberico
Bodengestaltung Auslauf		planbefestigt mit Einstreu (100 % eingestreut)
Anordnung Auslauf		beidseitig
Einstreu Bucht		Minimaleinstreu
Einstreu Auslauf		Stroh
Bodenreinigung Auslauf		Hofschlepper
Reinigungsfrequenz		2x / Woche
Überdachung	%	100
Sonnenschutz / Windschutz		nicht vorhanden
Phasenfütterung		dreiphasig; Vor-, Haupt-, Endmast



Abbildung 1: Luftbildkarte Standort Plan 4 (Luftbild: © Google, verändert). Die Windrose zeigt die prozentuale Häufigkeit der Windrichtungen (Messwerte am Standort); die rote Linie zeigt die Ausrichtung der Firstachse des Stallgebäudes. (© KTBL)



Abbildung 2: Ansicht des Stalls Plan 4 beiden Auslaufseiten, der Stall hat an beiden Längsseiten einen Auslauf (© KTBL)

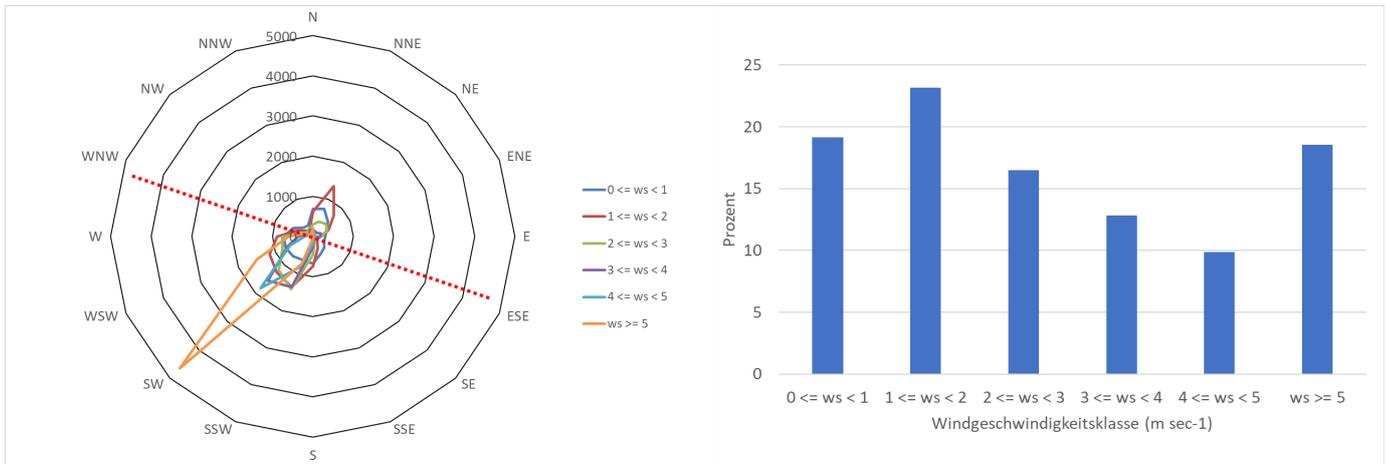


Abbildung 3: Links: Häufigkeit (n) der Windgeschwindigkeitsklasse (außen, m s⁻¹) nach Windrichtung am Standort Plan 4. Rechts: Verteilung der Windgeschwindigkeitsklassen (m s⁻¹) in Prozent. (© KTBL)

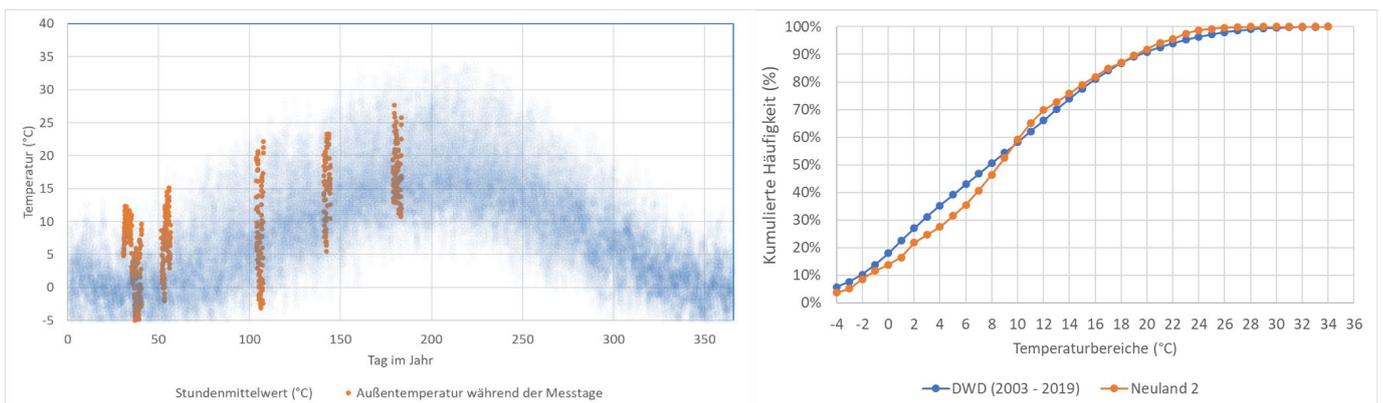


Abbildung 4: Links: Stundenmittel der Außentemperaturen (°C) zum Zeitpunkt der Messung am Standort Plan 4 (orange Punkte) und der nächstgelegenen DWD-Wetterstation (blaue Punkte; Zeitraum der DWD-Daten: 1948–2013). Rechts: kumulierte Häufigkeit (%) der gemessenen Stundenmitteltemperaturen. (© KTBL)

Emissionsraten in den Messwochen

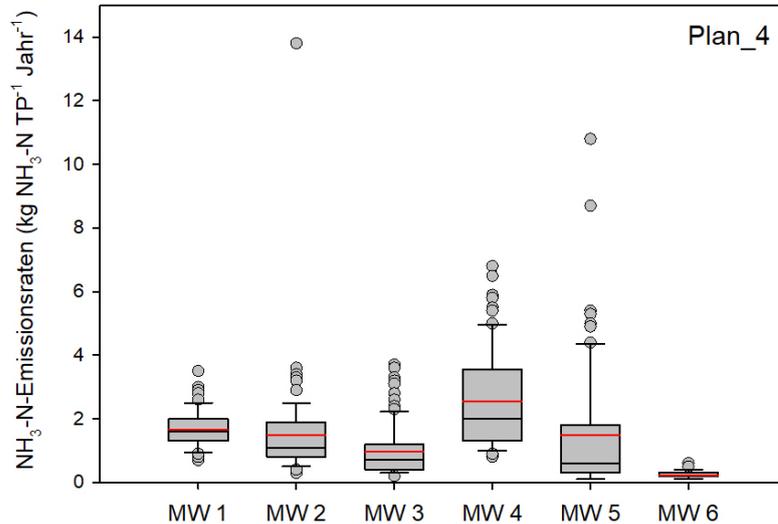


Abbildung 5: $\text{NH}_3\text{-N}$ -Emissionsraten ($\text{kg NH}_3\text{-N Tierplatz}^{-1} \text{Jahr}^{-1}$) für die sechs Messwochen (MW) am Standort Plan 4 (Stundenmittelwerte). Die rote Linie in der Box kennzeichnet den arithmetischen Mittelwert, die schwarze Linie den Median. (© KTBL)

Tabelle 2: Kennwerte der Messwochen (MW) am Standort Plan 4

Kennwerte	Einheit	Messwoche (MW)					
		1	2	3	4	5	6
Messdatum	Monat/Jahr	01/20	02/20	02/20	04/20	05/20	06/20
Durchschnittstemperatur MW	°C	8,5	1,7	6,8	8,1	15,7	18,5
Anzahl Mastschweine	n	393	453	480	520	465	453
Mittleres Gewicht Tiere	kg	69	64	67	75	81	80
Lauffläche Auslauf/Tier	m ²	0,8	0,8	0,7	0,7	0,8	0,8
Einstreu pro Tier und Tag	kg	0,7	0,6	0,5	0,5	0,6	0,6

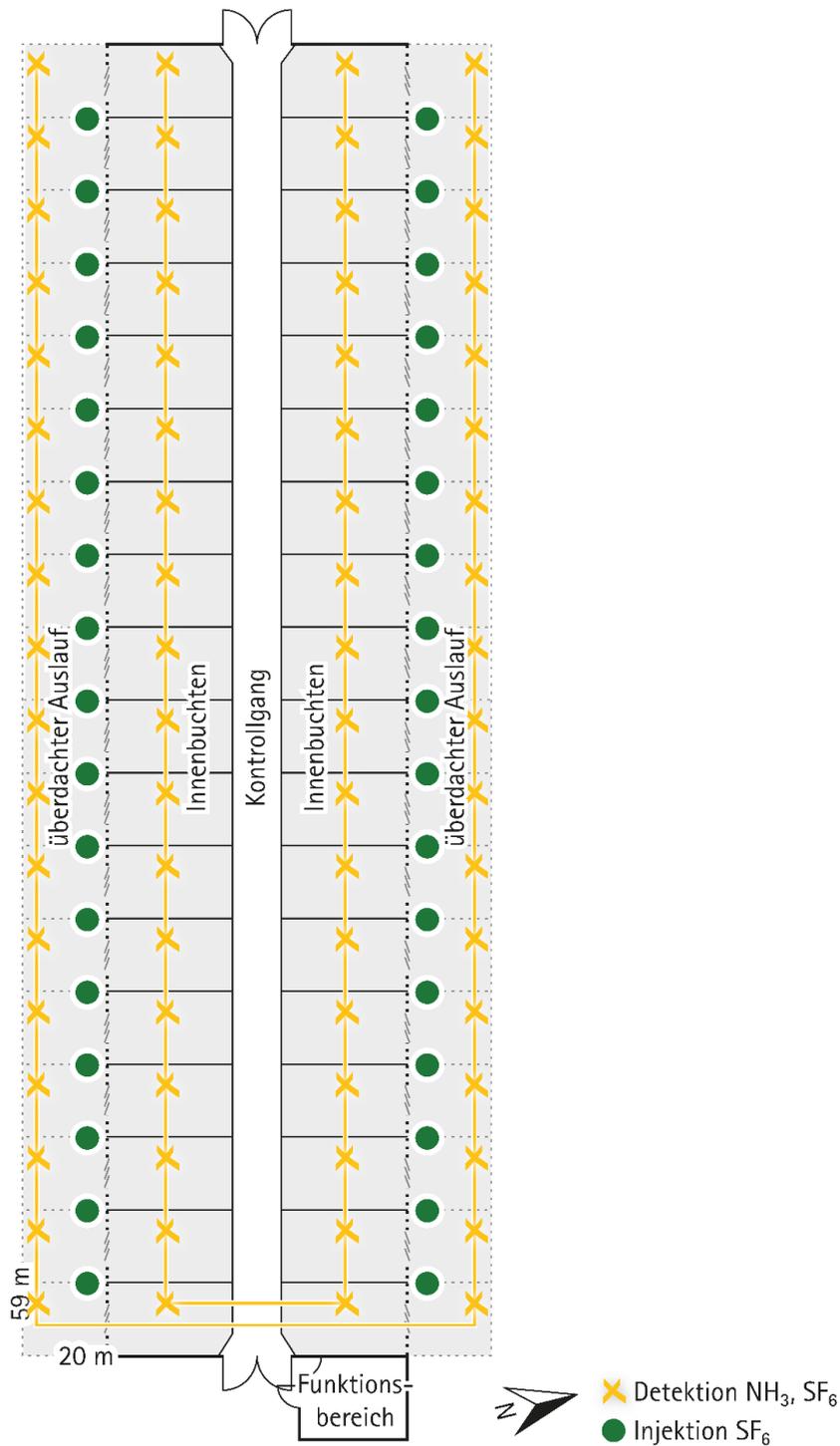


Abbildung 6: Stallansicht und Auslauf Plan 4 mit schematischer Einzeichnung der Injektionsdüsen für SF₆ (grüne Punkte) und der Detektionslinie und der Probenahmeplätze (gelb) für SF₆, NH₃ und CH₄ (© KTBL)

Standort Spalte 1

Standortbeschreibung

Tabelle 1: Kurzprofil des Standorts Spalte 1

Haltungs- und Entmistungsverfahren	Einheit	freigelüfteter Außenklimastall mit Auslauf; auf Spalten
Mastverfahren		kontinuierlich
Belegzeit im Stall	d	365
Baujahr Stallgebäude		2017
Tierplätze	n	408
Buchtenanzahl	n	24
Fläche Bucht innen gesamt	m ²	306,8
Fläche Auslauf gesamt	m ²	366,6
Fläche/Tierplatz gesamt	m ²	1,7
Fläche/Tierplatz Auslauf	m ²	0,9
Rasse		German Hybrid x Pietrain x Duroc
Bodengestaltung Auslauf		50 % planbefestigt, 50 % Spaltenboden
Anordnung Auslauf		einseitig
Einstreu Bucht		Minimaleinstreu Kiste, Beschäftigungsmaterial
Einstreu Auslauf		Stroh
Bodenreinigung Auslauf		Hofschlepper/Unterflurschieber
Reinigungsfrequenz		eingestreuter Bereich wöchentlich; Spaltenbereich unterflur täglich
Überdachung	%	75
Sonnenschutz / Windschutz		nicht vorhanden
Phasenfütterung		zweiphasig

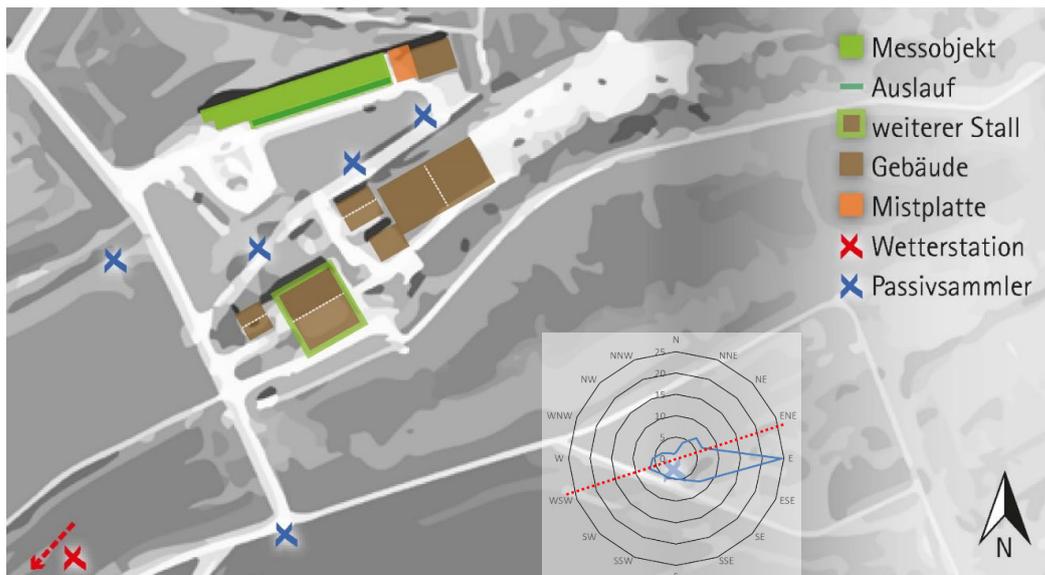


Abbildung 1: Luftbildkarte Standort Spalte 1 (Luftbild: © Google, verändert). Die Windrose zeigt die prozentuale Häufigkeit der Windrichtungen (Messwerte am Standort); die rote Linie zeigt die Ausrichtung der Firstachse des Stallgebäudes. (© KTBL)



Abbildung 2: Ansicht des Stalls Spalte 1 von der Auslaufseite (© KTBL)

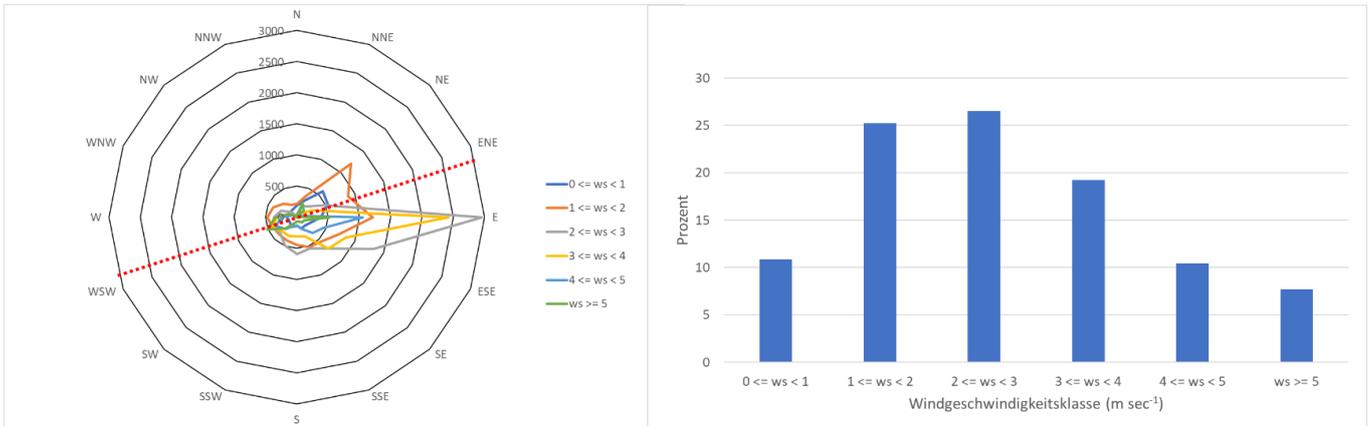


Abbildung 3: Links: Häufigkeit (n) der Windgeschwindigkeitsklasse (außen, $m s^{-1}$) nach Windrichtung am Standort Spalte 1. Rechts: Verteilung der Windgeschwindigkeitsklassen ($m s^{-1}$) in Prozent. (© KTBL)

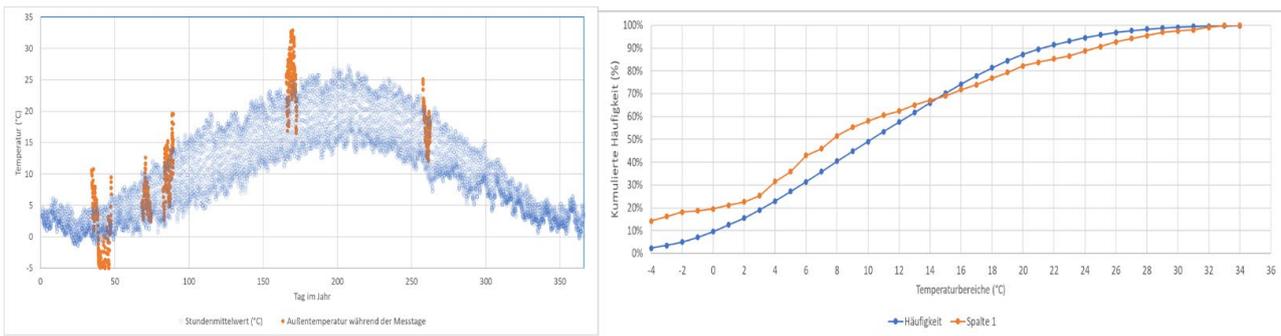


Abbildung 4: Links: Stundenmittel der Außentemperaturen ($^{\circ}C$) zum Zeitpunkt der Messung am Standort Spalte 1 (orange Punkte) und der nächstgelegenen DWD-Wetterstation (blaue Punkte; Zeitraum der DWD-Daten: 1948–2013). Rechts: kumulierte Häufigkeit (%) der gemessenen Stundenmitteltemperaturen. (© KTBL)

Emissionsraten in den Messwochen

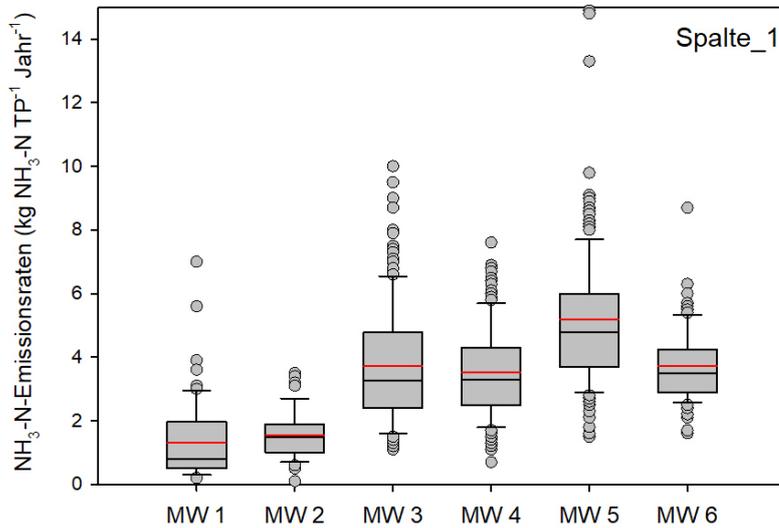


Abbildung 5: NH₃-N-Emissionsraten (kg NH₃-N Tierplatz⁻¹ Jahr⁻¹) für die sechs Messwochen (MW) am Standort Spalte 1 (Stundenmittelwerte). Die rote Linie in der Box kennzeichnet den arithmetischen Mittelwert, die schwarze Linie den Median. (© KTBL)

Tabelle 2: Kennwerte der Messwochen (MW) am Standort Spalte 1

Kennwerte	Einheit	Messwoche (MW)					
		1	2	3	4	5	6
Messdatum	Monat/Jahr	02/21	02/21	03/21	03/21	06/21	09/21
Durchschnittstemperatur MW	°C	1,4	-5,5	5,8	10,3	24,9	17,6
Anzahl Mastschweine	n	328	320	330	376	343	374
Mittleres Gewicht Tiere	kg	62	60,3	60,3	58,3	59,6	62
Lauffläche Auslauf/Tier	m ²	1,1	1,2	1,1	1,0	1,1	1,0
Einstreu pro Tier und Tag	kg	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

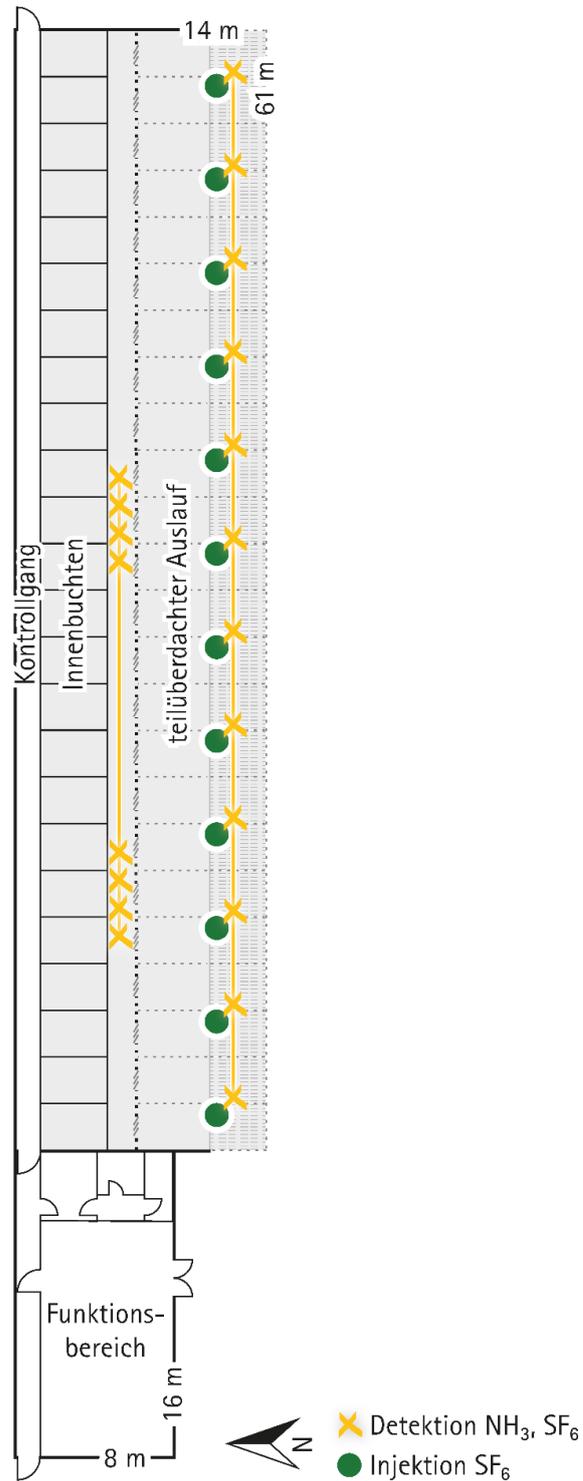


Abbildung 6: Stallansicht und Auslauf Spalte 1 mit schematischer Einzeichnung der Injektionsdüsen für SF₆ (grüne Punkte) und der Detektionslinie und der Probennahmepunkte (gelb) für SF₆, NH₃ und CH₄ (© KTBL)

Standort Spalte 2

Standortbeschreibung

Tabelle 1: Kurzprofil des Standorts Spalte 2

Haltungs- und Entmistungsverfahren	Einheit	freigelüfteter Außenklimastall mit Auslauf; auf Spalten
Mastverfahren		kontinuierlich
Belegzeit im Stall	d	365
Baujahr Stallgebäude		Stall 1: 2017, Stall 2: 2019
Tierplätze	n	995
Buchtenanzahl	n	40
Fläche Bucht innen gesamt	m ²	848
Fläche Auslauf gesamt	m ²	468
Fläche/Tierplatz gesamt	m ²	1,3
Fläche/Tierplatz Auslauf	m ²	0,5
Rasse		Schwäbisch Hällisch x Pietrain und BW Hybrid x Pietrain
Bodengestaltung Auslauf		Spaltenboden
Anordnung Auslauf		einseitig
Einstreu Bucht		Minimaleinstreu Kiste, Beschäftigungsmaterial
Einstreu Auslauf		keine Einstreu
Bodenreinigung Auslauf		manuell Oberflur / Unterflurschieber
Reinigungsfrequenz		1x/Tag Oberflur; Unterflurschieber 2x/Tag
Überdachung	%	50
Sonnenschutz / Windschutz		vorhanden
Phasenfütterung		zweiphasig



Abbildung 1: Luftbildkarte Standort Spalte 2 (Luftbild: © Google, verändert). Die Windrose zeigt die prozentuale Häufigkeit der Windrichtungen (Messwerte am Standort); die rote Linie zeigt die Ausrichtung der Firstachse des Stallgebäudes. (© KTBL)



Abbildung 2: Ansicht des Stalls Spalte 2 von der Auslaufseite und im Stall (© KTBL)

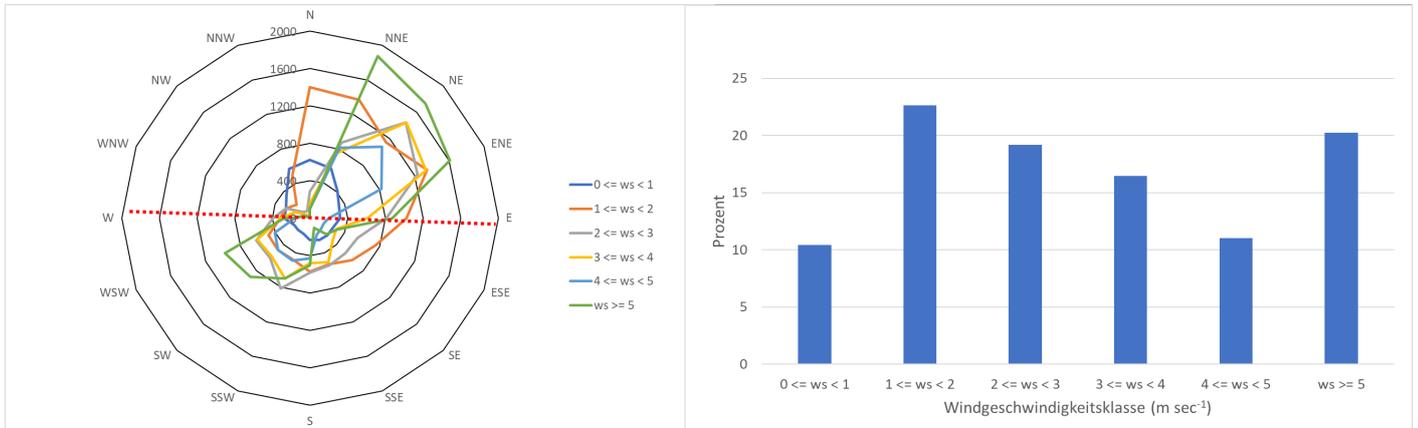


Abbildung 3: Links: Häufigkeit (n) der Windgeschwindigkeitsklasse (außen, $m s^{-1}$) nach Windrichtung am Standort Spalte 2. Rechts: Verteilung der Windgeschwindigkeitsklassen ($m s^{-1}$) in Prozent. (© KTBL)

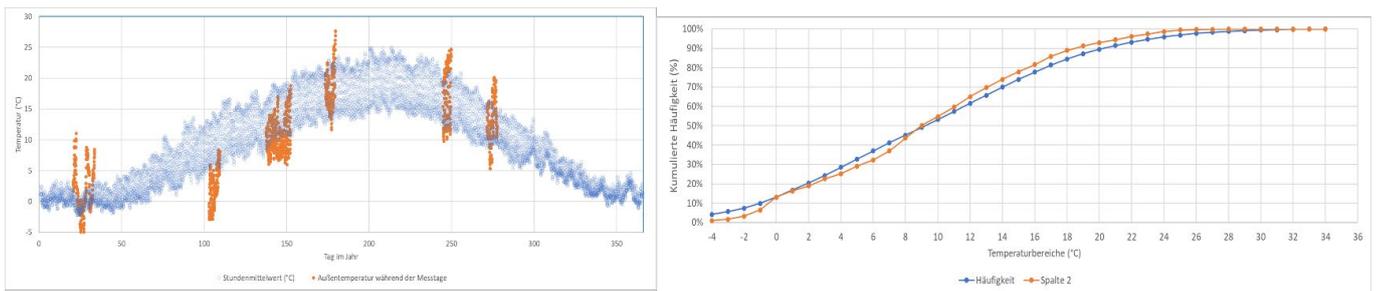


Abbildung 4: Links: Stundenmittel der Außentemperaturen ($^{\circ}C$) zum Zeitpunkt der Messung am Standort Spalte 2 (orange Punkte) und der nächstgelegenen DWD-Wetterstation (blaue Punkte; Zeitraum der DWD-Daten: 1948–2013). Rechts: kumulierte Häufigkeit (%) der gemessenen Stundenmitteltemperaturen. (© KTBL)

Emissionsraten in den Messwochen

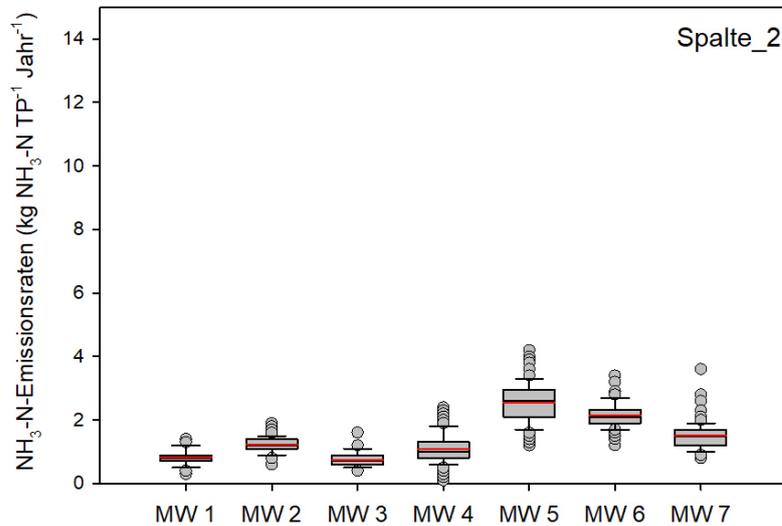


Abbildung 5: $\text{NH}_3\text{-N}$ -Emissionsraten ($\text{kg NH}_3\text{-N Tierplatz}^{-1} \text{Jahr}^{-1}$) für die sieben Messwochen (MW) am Standort Spalte 2 (Stundenmittelwerte). Die rote Linie in der Box kennzeichnet den arithmetischen Mittelwert, die schwarze Linie den Median. (© KTBL)

Tabelle 2: Kennwerte der Messwochen (MW) am Standort Spalte 2

Kennwerte	Einheit	Messwoche (MW)						
		1	2	3	4	5	6	7
Messdatum	Monat/Jahr	01/21	01/21	04/21	05/21	06/21	09/21	09/21
Durchschnittstemperatur MW	°C	0,8	3,1	2,6	10,5	18,3	17,0	12,8
Anzahl Mastschweine	n	1060	1062	1073	1071	1057	1070	1099
Mittleres Gewicht Tiere	kg	76,2	76,7	72,3	73,8	72,1	72,0	73,3
Lauffläche Auslauf/Tier	m ²	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4
Einstreu pro Tier und Tag	kg	-	-	-	-	-	-	-



Abbildung 6: Stallansicht und Auslauf Spalte 2 mit schematischer Einzeichnung der Injektionsdüsen für SF₆ (grüne Punkte) und der Detektionslinie und der Probennahmepunkte (gelb) für SF₆, NH₃ und CH₄ (© KTBI)

Standort Spalte 3

Standortbeschreibung

Tabelle 1: Kurzprofil des Standorts Spalte 3

Haltungs- und Entmistungsverfahren	Einheit	freigelüfteter Außenklimastall mit Auslauf; auf Spalten
Mastverfahren		kontinuierlich
Belegzeit im Stall	d	365
Baujahr Stallgebäude		Stall 1: 2016, Stall 2: 2020
Tierplätze	n	1296
Buchtenanzahl	n	2 x 30
Fläche Bucht innen gesamt	m ²	978,6
Fläche Auslauf gesamt	m ²	600,6
Fläche/Tierplatz gesamt	m ²	1,2
Fläche/Tierplatz Auslauf	m ²	0,5
Rasse		German Hybrid
Bodengestaltung Auslauf		Spaltenboden
Anordnung Auslauf		einseitig
Einstreu Bucht		Minimaleinstreu Kiste, Beschäftigungsmaterial
Einstreu Auslauf		nicht vorhanden
Bodenreinigung Auslauf		manuell Oberflur / Güllekeller nach Durchgang
Reinigungsfrequenz		nicht vorhanden
Überdachung	%	nicht vorhanden
Sonnenschutz / Windschutz		nur Sonnensegel
Phasenfütterung		dreiphasig

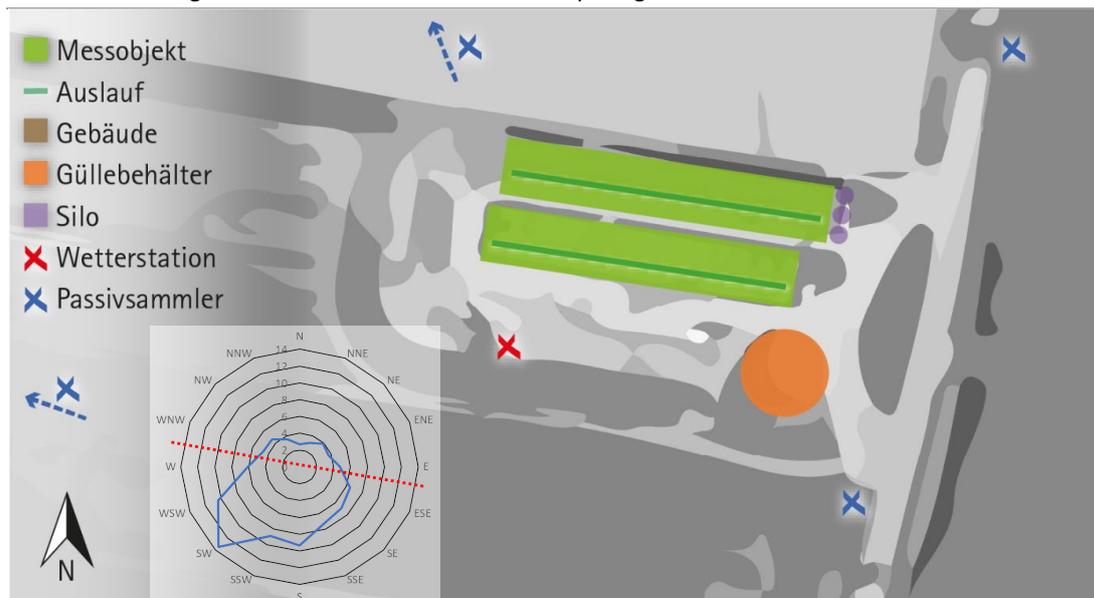


Abbildung 1: Luftbildkarte Standort Spalte 3 (Luftbild: © Google, verändert). Die Windrose zeigt die prozentuale Häufigkeit der Windrichtungen (Messwerte am Standort); die rote Linie zeigt die Ausrichtung der Firstachse des Stallgebäudes. (© KTBL)



Abbildung 2: Ansicht des Stalls Spalte 3 von der Auslaufseite und der Bucht im Stall (© KTBL)



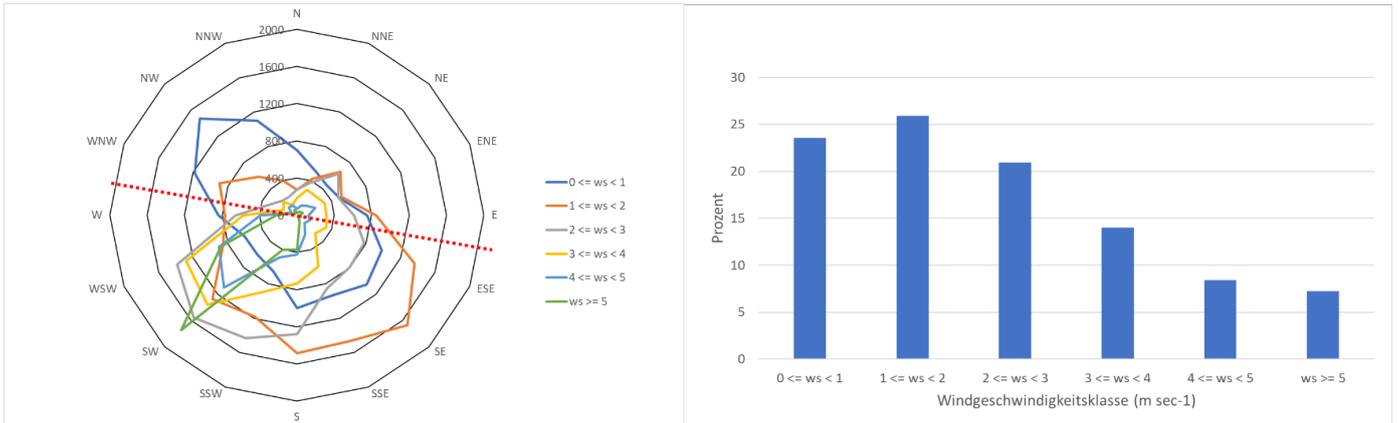


Abbildung 3: Links: Häufigkeit (n) der Windgeschwindigkeitsklasse (außen, $m s^{-1}$) nach Windrichtung am Standort Spalte 3. Rechts: Verteilung der Windgeschwindigkeitsklassen ($m s^{-1}$) in Prozent. (© KTBL)

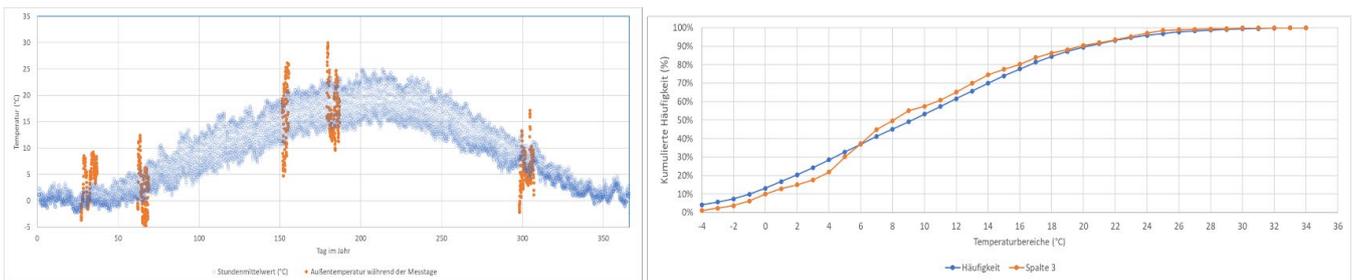


Abbildung 4: Links: Stundenmittel der Außentemperaturen ($^{\circ}C$) zum Zeitpunkt der Messung am Standort Spalte 3 (orange Punkte) und der nächstgelegenen DWD-Wetterstation (blaue Punkte; Zeitraum der DWD-Daten: 1948–2013). Rechts: kumulierte Häufigkeit (%) der gemessenen Stundenmitteltemperaturen. (© KTBL)

Emissionsraten in den Messwochen

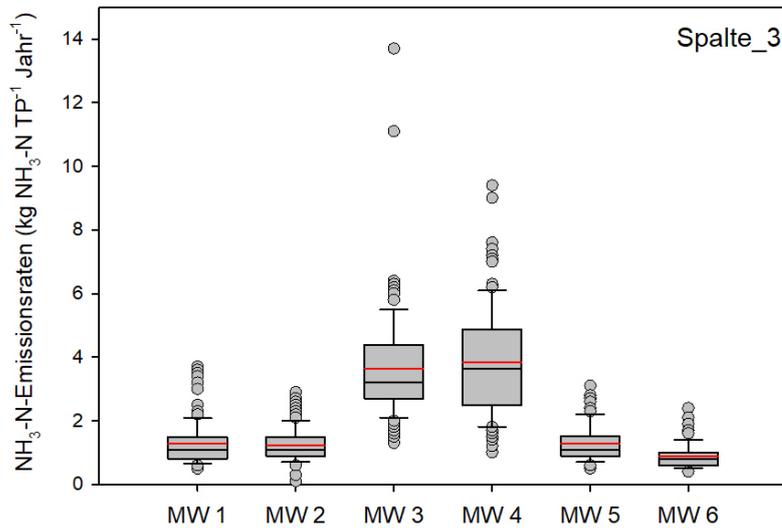


Abbildung 5: NH₃-N-Emissionsraten (kg NH₃-N Tierplatz⁻¹ Jahr⁻¹) für die sechs Messwochen (MW) am Standort Spalte 3 (Stundenmittelwerte). Die rote Linie in der Box kennzeichnet den arithmetischen Mittelwert, die schwarze Linie den Median. (© KTBL)

Tabelle 2: Kennwerte der Messwochen (MW) am Standort Spalte 3

Kennwerte	Einheit	Messwoche (MW)					
		1	2	3	4	5	6
Messdatum	Monat/Jahr	01/21	03/21	06/21	07/21	10/21	11/21
Durchschnittstemperatur MW	°C	4,0	2,2	16,4	16,6	5,6	6,0
Anzahl Mastschweine	n	1035	1296	1188	1296	1224	1224
Mittleres Gewicht Tiere	kg	69,6	69,9	65,5	68,1	64,8	67,4
Lauffläche Auslauf/Tier	m ²	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Einstreu pro Tier und Tag	kg	-	-	-	-	-	-

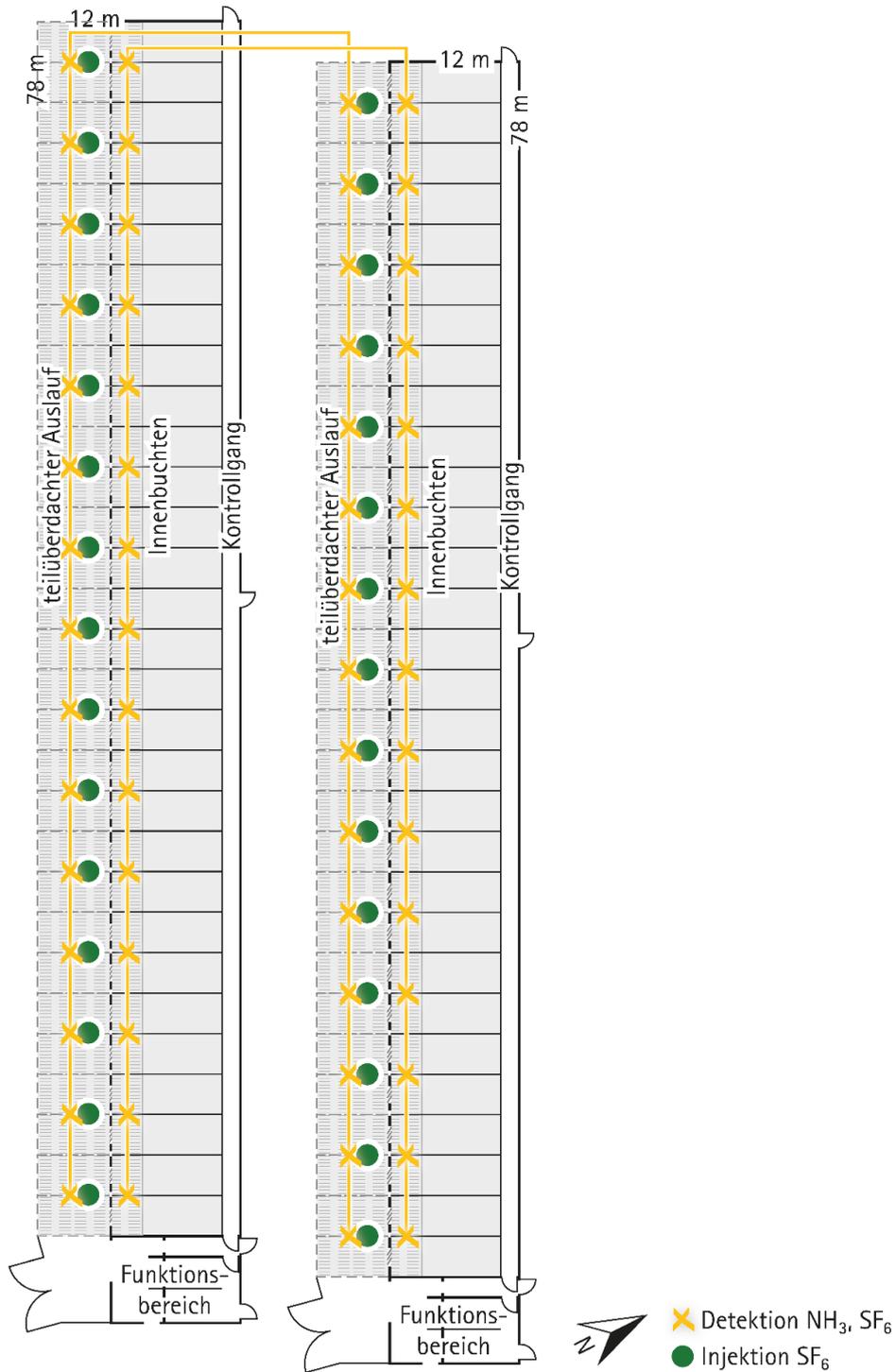


Abbildung 6: Stallansicht und Auslauf Spalte 3 mit schematischer Einzeichnung der Injektionsdüsen für SF₆ (grüne Punkte) und der Detektionslinie und der Probennahmepunkte (gelb) für SF₆, NH₃ und CH₄ (© KTBL)

Standort Spalte 4

Standortbeschreibung

Tabelle 1: Kurzprofil des Standorts Spalte 4

Haltungs- und Entmistungsverfahren	Einheit	freigelüfteter Außenklimastall mit Auslauf; auf Spalten
Mastverfahren		rein-raus
Belegzeit im Stall	d	345
Baujahr Stallgebäude		2002; Umbau Auslauf 2019
Tierplätze	n	64
Buchtenanzahl	n	4
Fläche Bucht innen gesamt	m ²	64
Fläche Auslauf gesamt	m ²	36,8
Fläche/Tierplatz gesamt	m ²	1,6
Fläche/Tierplatz Auslauf	m ²	0,6
Rasse		db.Viktoria x Pietrain
Bodengestaltung Auslauf		Spaltenboden
Anordnung Auslauf		einseitig
Einstreu Bucht		Minimaleinstreu Kiste, Beschäftigungsmaterial
Einstreu Auslauf		nicht vorhanden
Bodenreinigung Auslauf		manuell Oberflur / Güllekeller nach Durchgang
Reinigungsfrequenz		1x täglich Oberflur
Überdachung	%	100
Sonnenschutz / Windschutz		Windschutz vorhanden
Phasenfütterung		zweiphasig



Abbildung 1: Luftbildkarte Standort Spalte 4 (Luftbild: © Google, verändert). Die Windrose zeigt die prozentuale Häufigkeit der Windrichtungen (Messwerte am Standort); die rote Linie zeigt die Ausrichtung der Firstachse des Stallgebäudes. (© KTBL)



Abbildung 2: Ansicht des Stalls
Spalte 4 von der Auslaufseite
und der Bucht im Stall (© KTBL)

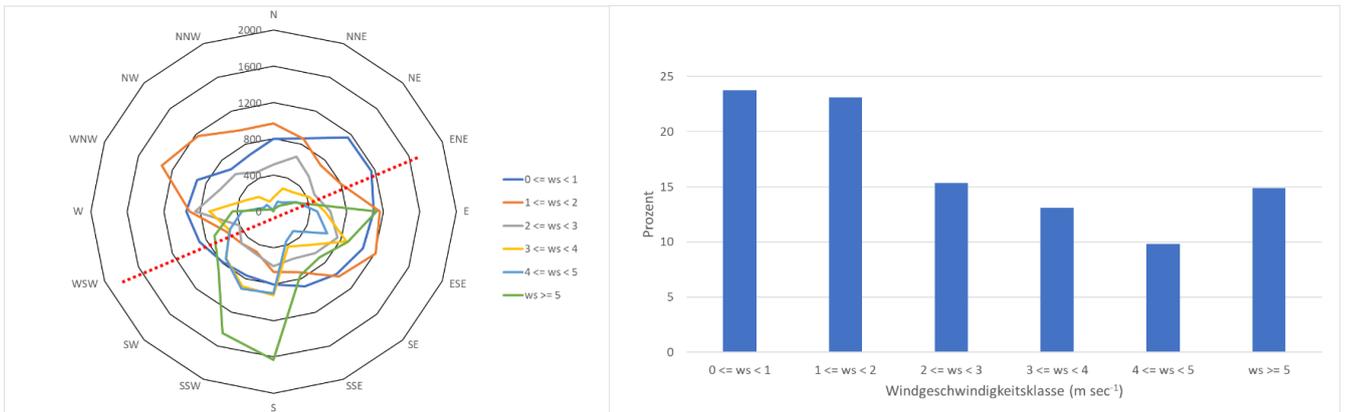


Abbildung 3: Links: Häufigkeit (n) der Windgeschwindigkeitsklasse (außen, m s⁻¹) nach Windrichtung am Standort Spalte 4. Rechts: Verteilung der Windgeschwindigkeitsklassen (m s⁻¹) in Prozent. (© KTBL)

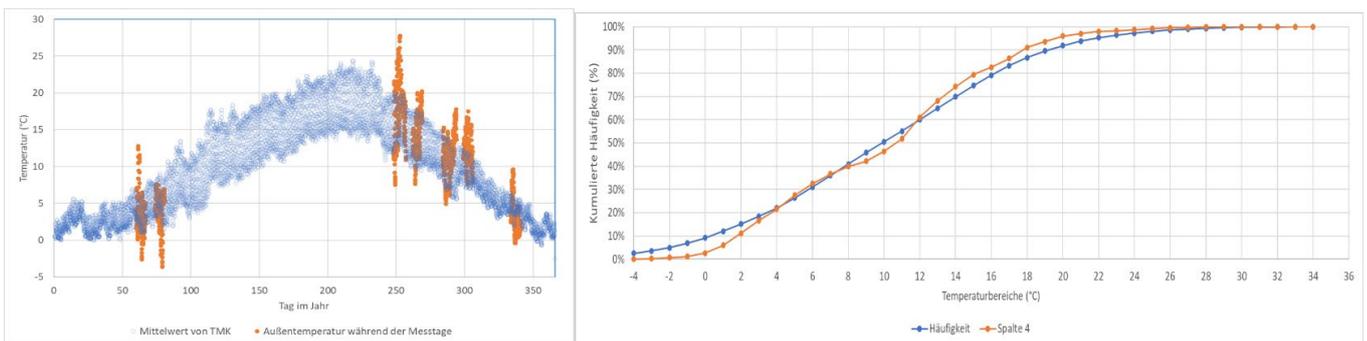


Abbildung 4: Links: Stundenmittel der Außentemperaturen (°C) zum Zeitpunkt der Messung am Standort Spalte 4 (orange Punkte) und der nächstgelegenen DWD-Wetterstation (blaue Punkte; Zeitraum der DWD-Daten: 1948–2013). Rechts: kumulierte Häufigkeit (%) der gemessenen Stundenmitteltemperaturen. (© KTBL)

Emissionsraten in den Messwochen

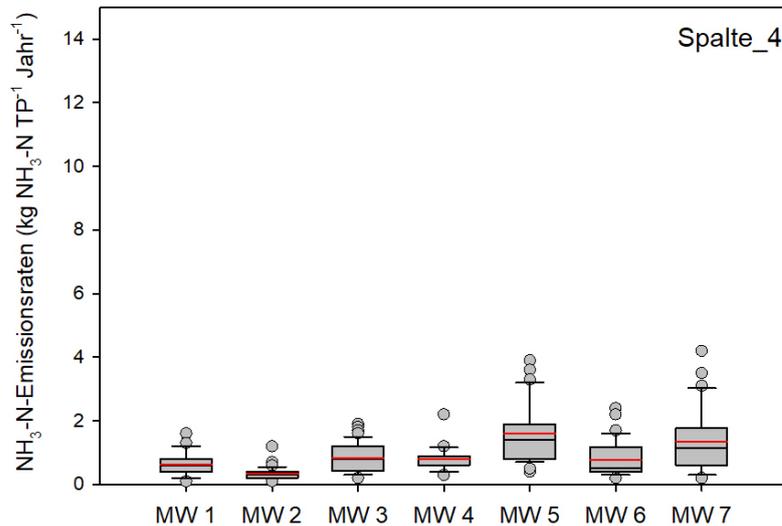


Abbildung 5: $\text{NH}_3\text{-N}$ -Emissionsraten ($\text{kg NH}_3\text{-N Tierplatz}^{-1} \text{Jahr}^{-1}$) für die sieben Messwochen (MW) am Standort Spalte 4 (Stundenmittelwerte). Die rote Linie in der Box kennzeichnet den arithmetischen Mittelwert, die schwarze Linie den Median. (© KTBL)

Tabelle 2: Kennwerte der Messwochen (MW) am Standort Spalte 4

Kennwerte	Einheit	Messwoche (MW)						
		1	2	3	4	5	6	7
Messdatum	Monat/Jahr	03/21	03/21	09/21	09/21	10/21	10/21	11/21
Durchschnittstemperatur MW	°C	3,6	4,0	17,5	14,4	11,7	12,1	3,4
Anzahl Mastschweine	n	63	62	49	42	39	39	31
Mittleres Gewicht Tiere	kg	89	100	105	92	79	92	45
Lauffläche Auslauf/Tier	m ²	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,6
Einstreu pro Tier und Tag	kg	-	-	-	-	-	-	-

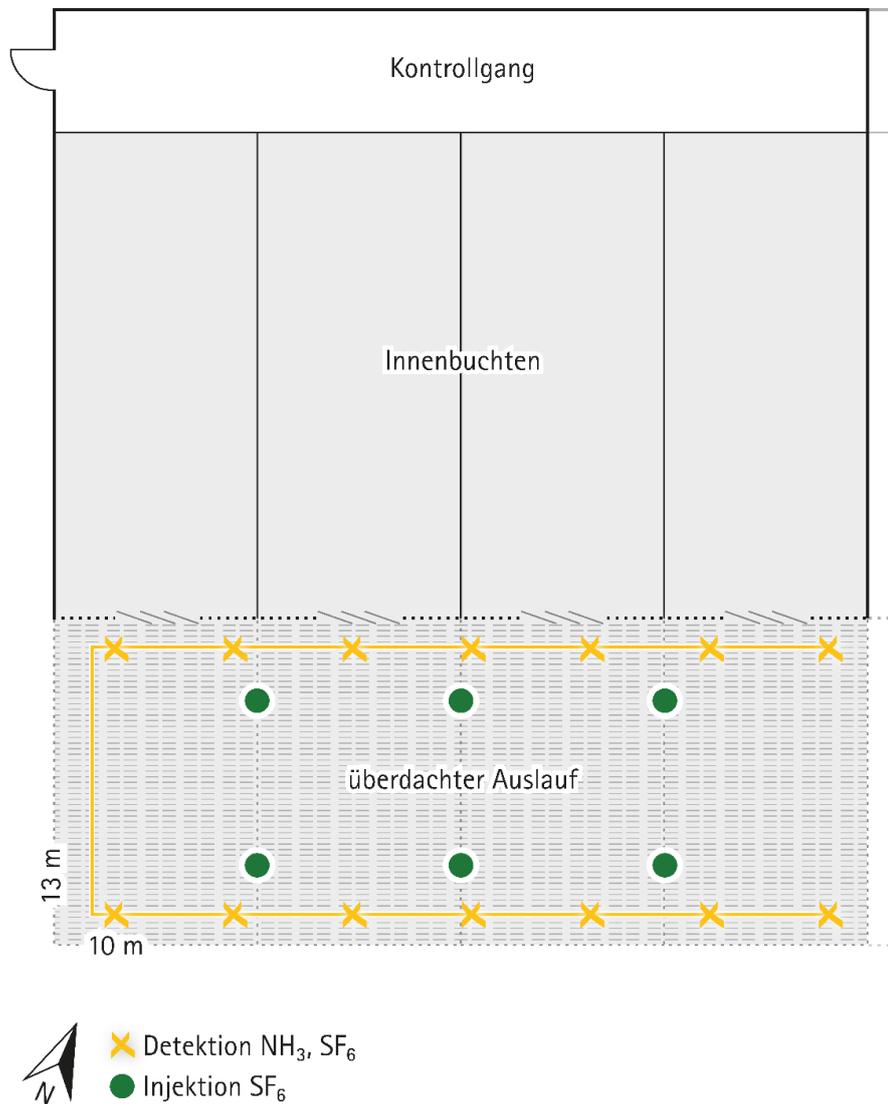


Abbildung 6: Stallansicht und Auslauf Spalte 3 mit schematischer Einzeichnung der Injektionsdüsen für SF₆ (grüne Punkte) und der Detektionslinie und der Probenahmepunkte (gelb) für SF₆, NH₃ und CH₄ (© KTBL)

Ergebnisse Ammoniak, Methan und weitere Kenndaten der 8 Mastschweinställe mit Auslauf in EmiDaT

Standort	NH ₃ - Emissionsraten (kg NH ₃ -N TP ⁻¹ Jahr ⁻¹)	NH ₃ - Emissionsraten (kg NH ₃ -N TP ⁻¹ m ² Jahr ⁻¹)	NH ₃ - Emissionsraten (kg NH ₃ -N GV ⁻¹ Jahr ⁻¹)	NH ₃ - Emissionsraten (kg NH ₃ -N GV ⁻¹ m ² Jahr ⁻¹)	Anzahl Stunden- mittelwert (n)	GV (Anzahl Betrieb ⁻¹)	Mittleres Gewicht (kg LM)	Auslauf- fläche (m ² Tier ⁻¹)	LM- Zuwachs (g LM Tag ⁻¹)	Tierplätze (Tiere Stall ⁻¹)
Plan_1	4,2	3,3	33,8	26,5	402	26	65,7	1,3	707,3	204
Plan_2	3,5	4,6	26,4	34,9	684	15	69,4	0,8	772,4	120
Plan_3	3,8	8,1	28,6	60,7	149	29	66,6	0,5	743,6	200
Plan_4	1,4	1,9	10,5	14,4	533	67	66,6	0,7	790,9	600
Spalte_1	3,5	3,3	25,9	24,5	709	42	68,2	1,1	754,0	408
Spalte_2	1,4	3,1	10,1	22,5	994	157	70,1	0,4	803,3	975
Spalte_3	2,1	4,6	16,1	34,7	634	165	65,6	0,5	854,7	1296
Spalte_4	0,9	1,5	7,9	12,6	371	8	62,2	0,6	902,0	64
Mittelwert	2,6	3,8	19,9	28,8	560	64	66,8	0,7	791,0	483
Standort	CH ₄ - Emissionsraten (kg CH ₄ TP ⁻¹ Jahr ⁻¹)	CH ₄ - Emissionsraten (kg CH ₄ TP ⁻¹ m ² Jahr ⁻¹)	CH ₄ - Emissionsraten (kg CH ₄ GV ⁻¹ Jahr ⁻¹)	CH ₄ - Emissionsraten (kg CH ₄ GV ⁻¹ m ² Jahr ⁻¹)	Anzahl Stunden- mittelwert (n)					
Plan_1	10,9	8,51	82,8	64,8	430					
Plan_2	28,2	38,9	203	280	772					
Plan_3	3,57	7,57	26,8	56,9	149					
Plan_4	0,18	0,25	1,33	1,88	573					
Spalte_1	6,42	6,24	47,1	45,7	716					
Spalte_2	1,26	2,80	8,96	20,0	873					
Spalte_3	1,06	2,30	8,07	17,5	634					
Spalte_4	1,65	2,64	13,3	29,8	373					
Mittelwert	6,66	8,65	48,9	64,6	565					

